

IDENTIFICACIÓN DE LA VARIACIÓN EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO DEBIDO AL ORIGEN DEL AGREGADO GRUESO

Presenta:

Martha Liliana Abril Gil **Cód.** 504718
Ana Milena Ramos Sánchez **Cód.** 404741

Universidad Católica de Colombia
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Civil
Bogotá D.C.
2017

IDENTIFICACIÓN DE LA VARIACIÓN EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO DEBIDO AL ORIGEN DEL AGREGADO GRUESO

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

Presenta:

Martha Liliana Abril Gil **Cód.** 504718
Ana Milena Ramos Sánchez **Cód.** 404741

Director:

MSc. MBA. Martín Eduardo Espitia Nery

Universidad Católica de Colombia
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Civil
Bogotá D.C.
2017



La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación

MARTÍN EDUARDO ESPITIA NERY
Director del Proyecto

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá, 26 de octubre de 2017

DEDICATORIA

La presente monografía se la dedicamos en primer lugar a Dios, quien nos ha dado el discernimiento para poder elegir esta valiosa profesión y poder hacer la elección adecuada del tema de nuestro proyecto de grado; también queremos dedicar este trabajo a nuestras familias, porque en ellos hemos encontrado un apoyo incondicional en todo este proceso de aprendizaje en camino hacia una vida profesional; a cada uno de nuestros padres, ya que han sido los cimientos de nuestra formación tanto personal como intelectual, por brindarnos la motivación e inspiración, la confianza, los consejos, las oportunidades y los recursos necesarios para culminar con éxito esta etapa de nuestras vidas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la oportunidad de tener la vida a Dios, gracias por hacer de nosotras unas futuras profesionales al servicio de la sociedad con toda la disposición de hacer el bien bajo los principios morales y éticos, los cuales harán que tomemos las mejores decisiones ante cada una de las circunstancias que se puedan presentar en el ejercicio profesional. Queremos agradecer a nuestras familias, por la paciencia y el cariño brindado, gracias por ser el motor de nuestros sueños y no dejarnos desfallecer en los momentos en que las cosas se tornaron difíciles. De forma muy especial agradecemos a la geóloga Alejandra Rivera, quien nos aportó sus conocimientos para poder plasmar la idea de la presente investigación; por supuesto agradecemos al Ingeniero Martín Espitia quien fue el encargado de guiar y dirigir el trabajo, porque con él logramos culminarlo y dar cumplimiento a cada uno de los objetivos propuestos en esta enriquecedora experiencia del proyecto de grado. De igual manera agradecemos a toda la planta docente del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Colombia, porque es un equipo de profesionales muy completo, los cuales se encargaron de transmitirnos conocimientos muy valiosos en estos cinco años, además gracias a ellos aprendimos lo maravilloso de la Ingeniería y además abrieron nuestra mente para ser capaces de enfrentar el mundo profesional e intelectual. También agradecemos a cada uno de los auxiliares de laboratorio por la atención brindada en el desarrollo de la parte experimental de la investigación. De igual manera agradecer al centro de microscopia de la universidad de los Andes por permitirnos hacer uso de sus instalaciones para caracterizar los agregados gruesos bajo los criterios de la microscopia de barrido. Por último gracias a todos nuestros amigos, colegas y conocidos que de una u otra manera han sido parte de este recorrido tan agradable.

CONTENIDO

DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTOS.....	6
CONTENIDO	7
LISTAS DE TABLAS.....	12
GLOSARIO	13
RESUMEN.....	14
ABSTRACT.....	14
1. GENERALIDADES	16
1.1 ANTECEDENTES.....	16
1.1.1 De acuerdo al origen del agregado.	16
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2.1 Descripción del problema.	17
1.2.2 Formulación del Problema.	18
1.3 OBJETIVOS	19
1.3.1 General.	19
1.3.2 Específicos.....	19
1.4 JUSTIFICACIÓN	19
1.5 DELIMITACIÓN	20
1.5.1 Espacio.	20
1.5.2 Tiempo.	20
1.5.3 Contenido.....	20
1.5.4 Alcance.	21
1.6 MARCO CONCEPTUAL	21
1.6.1 Concreto u Hormigón.	21
1.6.2 Agregados o Áridos.....	21
1.6.3 Agregado Grueso.....	21
1.6.4 Materiales de construcción.	21
1.7 MARCO HISTORICO.....	22
2. MARCO TEÓRICO	23
2.1 CEMENTO.....	24
2.1.1 Propiedad del cemento.	24
2.1.1.1 Peso específico.....	24
2.2 AGUA	24
2.3 AGREGADOS	24
2.3.1 Clasificación De Los Agregados.	25
2.3.1.2 Según Su Procedencia.....	26

2.3.1.3 Según Su Densidad.	26
2.3.1.4 Según Su Forma.	27
2.3.1.5 Según Su Textura Superficial.....	27
2.3.2.1 Agregado Grueso.	28
2.3.2.2 Agregado Fino.....	29
2.3.2.3 Microscopía Electrónica De Barrido SEM..	29
2.4 CANTERAS	30
2.4.1 Tipos De Canteras.	31
2.4.1.1 Según el tipo de explotación.	31
2.4.1.2 Según el material de explotación.	31
2.4.1.3 Según su origen.	32
2.4 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO.....	32
2.5.1 Métodos para el Diseño de mezcla.:	32
2.5.1.1 Método ACI 211.1..	32
2.5.1.2 Método Weymouth y Fuller-Thompson..	33
2.5.1.3 Método Bolomey.....	34
2.5.1.4 Método Faury.....	34
2.5.1.5 Método volumétrico.....	34
3. METODOLOGÍA	36
TIPO DE ESTUDIO	36
FUENTES DE INFORMACIÓN.....	36
ETAPAS METODOLÓGICAS.....	36
3.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS CANTERAS Y RECOLECCIÓN DE MATERIALES.....	38
3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	38
3.2.1 Agregado Grueso.....	39
3.2.1.1 Tamaño máximo.....	39
3.2.1.2 Peso unitario..	39
3.2.1.3 Absorción y Densidad..	40
3.2.1.4 Humedad natural.....	40
3.2.2 Agregado Fino.	41
3.2.2.1 Módulo de finura.....	41
3.2.2.2 Humedad natural.....	41
3.2.2.3 Absorción y Densidad.	42
3.2.2 Cemento	42
3.2.3.1 Densidad.	42
3.2.3.2 Consistencia normal.....	43
3.2.3.3 Tiempos de fraguado.	43
3.3 DISEÑO DE MEZCLA.....	44
3.3.1 Curvas de Resistencia- Relaciones Agua – Cemento de las mezclas.	44
3.3.2 Relación agua cemento según el tipo de construcción.	45
3.3.3 Resistencia a la compresión según la relación agua cemento.....	46
3.3.4 Slumps recomendados para diversos tipos de construcción.	46

3.3.5	Tamaño máximo del agregado recomendado para diversos tipos de construcción.....	47
3.3.6	Valores aproximados del porcentaje de agregado fino y la cantidad de agua por M3 de concreto.	48
3.4	ELABORACIÓN DE LOS CILINDROS.....	48
3.4.1	Asentamiento.....	49
3.4.2	Elaboración y curado..	49
3.5	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	50
4.	RESULTADOS	51
4.1	ZONAS PARA LA EXTRACCIÓN DE MATERIAL	51
4.1.1	Cantera Guayuriba	51
4.1.2	Cantera Loma pelada.....	53
4.2	CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	55
4.2.1	Agregado grueso.....	55
4.2.1.1	Contenido de Humedad (NTC 1776).....	56
4.2.1.2	Densidad y absorción del agregado grueso (NTC176).	57
4.2.1.3	Masa Unitaria y Vacíos entre las partículas de los agregados (NTC 92).....	59
4.2.2	Agregado fino.....	63
4.2.2.1	Contenido de Humedad (NTC 1776).....	63
4.2.2.2	Densidad y absorción del agregado fino (NTC 237).....	64
4.2.2.2	Análisis por tamizado (NTC 77).....	65
4.2.3	Cemento.	66
4.2.3.1	Densidad del Cemento Hidráulico (NTC 221).	66
4.2.3.2	Tiempos de Fraguado (NTC 118).....	67
4.2.3.3	Consistencia normal (NTC 110).....	67
4.3	ENSAYO SEM	68
4.3.1	Agregado grueso..	68
4.3.2	Concreto..	69
4.4	DISEÑO DE MEZCLA.....	70
4.4.1	Relación A/C.....	71
4.4.2	Proporciones para 1 metro cubico (1000 litros).	72
4.4.2.1	Cantidad de cemento	72
4.4.2.2	Cantidad de agregado fino	72
4.4.2.3	Cantidad de agregado grueso	72
4.4.2.2	Cantidad de agregado fino	72
4.4.2.3	Cantidad de agregado grueso	73
4.5	ELABORACIÓN DE LOS CILINDROS.....	73
4.6	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	75
5	CONCLUSIONES	77
6	RECOMENDACIONES.....	79
	BIBLIOGRAFÍA	80

ANEXOS.....	87
1. AGREGADO GRUESO VILLAVICENCIO.....	87
2. AGREGADO GRUESO MOSQUERA.....	89
3. AGREGADO FINO	92
4. CEMENTO.....	94
5. RESISTENCIAS	96
6. ENSAYO SEM	101

LISTAS DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Mapa conceptual de materias primas.	23
Ilustración 2. Clasificación de los minerales en Colombia.	31
Ilustración 3. Diseño de mezclas de concreto por el método ACI.	33
Ilustración 4. Mapa conceptual de la Metodología	37
Ilustración 5. Curvas de resistencia - relaciones agua - cemento.	44
Ilustración 6. Ubicación de la cantera Guayuriba.....	51
Ilustración 7. Extracción del material	52
Ilustración 8. Acopio del material	52
Ilustración 9. Distribución en la planta Guayuriba.....	53
Ilustración 10. Ubicación cantera Loma Pelada - Mosquera.....	54
Ilustración 11. Extracción del material - Cantera Loma Pelada.	54
Ilustración 12. Planta de agregados Loma pelada	55
Ilustración 13. Muestras del agregado grueso de Villavicencio y Mosquera.....	56
Ilustración 14. Agregado grueso Villavicencio - Mosquera.	56
Ilustración 15. Preparación de muestras para el ensayo, agregado grueso Villavicencio y Mosquera.	57
Ilustración 16. Método de apisonamiento para agregado grueso de Villavicencio y Mosquera.	59
Ilustración 17. Curva de granulometría	63
Ilustración 18. Cono de arena y picnómetro	64
Ilustración 19. Imágenes de alta resolución de las superficies de las muestras Villavicencio y Mosquera con magnificación a X30 y X250.	68
Ilustración 20. Concreto con grava de Villavicencio - Con grava de Mosquera (Magnificación X30).	69
Ilustración 21. Magnificación a X500 de Concreto con agregado: Villavicencio - Mosquera.....	70
Ilustración 22. Mezcla de todos los materiales para el concreto	73
Ilustración 23. Ensayo de asentamiento	73
Ilustración 24. Cilindros en las camisas	74
Ilustración 25. Cilindros en inmersión	74
Ilustración 26 Concreto en estado sólido fraguado con grava de Villavicencio – Mosquera.....	75
Ilustración 27 Curva de comparación de resistencias de concretos a compresión	76

LISTAS DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de agregados según su densidad.	26
Tabla 2. Proporciones de material.	35
Tabla 3. Norma NTC 77	39
Tabla 4. Norma NTC 92	39
Tabla 5. Norma NTC 176	40
Tabla 6. Norma NTC 1776	40
Tabla 7. Norma NTC 77	41
Tabla 8. Norma NTC 1776	41
Tabla 9. Norma NTC 237	42
Tabla 10. Norma NTC 221	42
Tabla 11. Norma NTC 110	43
Tabla 12. Norma NTC 118	43
Tabla 13. Relación a/c según el tipo de construcción.	45
Tabla 14. Resistencia a la compresión según la relación a/c.	46
Tabla 15. Slumps según el tipo de construcción.	46
Tabla 16. Tamaño máximo del agregado según el tipo de construcción.	47
Tabla 17. Valores aproximados en porcentaje del agregado fino y cantidad de agua por m ³ de concreto.	48
Tabla 18. Norma NTC 396	49
Tabla 19. Norma NTC 550	50
Tabla 20 Norma NTC 673	50
Tabla 21. Contenido de humedad	57
Tabla 22. Densidad y absorción agregado grueso Villavicencio.	58
Tabla 23. Densidad y absorción agregado grueso Mosquera.	58
Tabla 24. Resultados masa unitaria para agregado grueso Villavicencio.	59
Tabla 25. Resultados masa unitaria para agregado grueso Mosquera.	59
Tabla 26. Masa unitaria SSS - Agregado grueso Villavicencio.	60
Tabla 27. Masa unitaria SSS - Agregado grueso Mosquera.	60
Tabla 28. Resultado porcentaje de vacíos - Agregado grueso Villavicencio.	61
Tabla 29. Resultado de porcentaje de vacíos - Agregado grueso Mosquera.	61
Tabla 30. Granulometría del agregado grueso de Mosquera	62
Tabla 31. Granulometría de Villavicencio	62
Tabla 32. Densidad para agregado fino	64
Tabla 33. Módulo de finura Mosquera	65
Tabla 34. Módulo de finura Villavicencio	66
Tabla 35. Tiempos de fraguado	67
Tabla 36. Datos necesarios para el diseño.	70
Tabla 37 Resistencias totales con grava de Villavicencio	75
Tabla 38 Resistencias totales con grava de Mosquera	76

GLOSARIO

Agregado: Es material granular que puede tener diversos tamaños, texturas, formas y gradaciones. Proviene de canteras con explotación de materiales de río o de peña y se pueden presentar en estado natural o procesado. Son resultado de fuerzas geológicas erosivas del agua y del viento, cuando se combinan con un aglomerante y agua forman concreto o mortero hidráulico y constituyen entre un 70 a 85% del peso de la mezcla total.

Cantera: Son yacimientos o depósitos de agregados de origen mineral y rocoso, se clasifican según el tipo de explotación del material. Se ubican en zonas con abundante formación de roca.

Concreto: Es la mezcla de agregados gruesos y finos, agua y cemento que cuando se solidifican forman uno de los materiales de construcción más resistente.

Resistencia: Es la capacidad que tiene un cuerpo sólido de soportar las deformaciones inducidas por la acción de diferentes fuerzas externas aplicadas sobre él, sin llegar a la falla.

Resistencia a compresión: Es la máxima resistencia medida en un espécimen de concreto sometido a una carga axial y es expresada en kilogramos por centímetro cuadrado.

Tamiz: Es un elemento que se utiliza para separar las partes finas de las gruesas de una muestra de material o agregado; está constituido por una malla o rejilla metálica tupida que está sujeta a un aro, el cual permite clasificar el material por tamaños.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objeto identificar cuál es la incidencia que tiene el origen del agregado grueso en la resistencia del concreto cuando completa su tiempo de fraguado (a los 28 días). Para hacer la comparación se tomaron dos canteras de forma aleatoria cercanas a Bogotá que produjeran agregados para la construcción y que tuvieran distinto origen, por lo cual los dos materiales seleccionados fueron: uno de peña proveniente del municipio de Mosquera en el departamento de Cundinamarca, el cual es producto de explotación mecánica y otro es extraído del río Guayuriba ubicado en Villavicencio en el departamento del Meta, este material es sometido a un proceso de trituración posterior a su extracción. Para el estudio primero se hizo la caracterización física del material necesario para hacer la mezcla de concreto, es decir cemento, agregado grueso (Mosquera y Villavicencio) y arena. Teniendo en cuenta que las propiedades físicas encontradas en la grava de las dos canteras son diferentes, se realiza un diseño de mezcla único para los 40 cilindros, para una resistencia de diseño de 3000 psi para lo cual se tomaron los datos obtenidos de los ensayos realizados a la grava de la cantera de Villavicencio, con el propósito de que la única variable de estudio sean las características que tienen los agregados gruesos y como estas inciden en la resistencia final del concreto. Se quiere identificar si existe o no alguna variación en la magnitud de carga que puede soportar cada una de las mezclas, considerando que ambas fueron hechas bajo las mismas condiciones. Para lo cual se realizaron 20 muestras cilíndricas con cada uno de los materiales, con el fin de fallarlas a los 7, 14 y 28 días, como lo establecen los ensayos normalizados.

ABSTRACT

The present research work has the objective of identifying the incidence of the coarse aggregate origin in the resistance of a concrete mixture when it completes its set time, ie at 28 days. In order to make the comparison, two quarries were taken in a random manner near Bogotá that produced aggregates for the construction and that had different origin, so that the two materials selected were: one of rock from the municipality of Mosquera in the department of Cundinamarca, which is a product of mechanical exploitation and another is extracted from the Guayariba river located in Villavicencio in the department of Meta, this material is subjected to a crushing process after its extraction. For the first study physical characterization of the material necessary to make concrete mixture, cement, coarse aggregate (Mosquera and Villavicencio) and sand was made. Taking into account that the physical properties found in the gravel of the two quarries are different, with the purpose that the only variable of study are the characteristics that have the coarse aggregates. It is desired to identify whether or not there is any variation in the magnitude of load that each of the mixtures can withstand, considering that both were made under the same conditions. For this, 20 cylindrical samples were made with each of the materials, in order to fail them at 7, 14 and 28 days, as established by the standardized tests.

INTRODUCCIÓN

En el campo de la construcción el concreto es uno de los materiales más utilizados, se encuentra conformado por una mezcla homogénea con los siguientes componentes: cemento, aire, agua y agregado; los cuales en conjunto le otorgan al concreto la propiedad de resistencia a la compresión siendo la de mayor análisis en el mismo (Toirac, 2008). En este sentido, es importante mencionar que los agregados pétreos se caracterizan por ser recursos susceptibles al almacenamiento y en su mayoría se consideran no perecederos; estos ocupan espacios relativamente grandes dentro de la construcción física y dentro del campo de la ingeniería civil (Carcaño, Grife y Fajardo, 2009).

Para el caso específico de la presente investigación, el origen del agregado grueso toma un papel primordial, porque este puede poseer distintas características como: forma, tamaño, gradación, capacidad de absorción y demás propiedades incidentes en el comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido; dichas propiedades vienen dadas fundamentalmente por su origen, ya sea natural o por extracción en canteras. La resistencia del hormigón puede verse afectada porque está directamente relacionada con el tipo de agregado utilizado en la mezcla, es decir, a más variedad de tamaños mejor será el comportamiento de la misma, ya que la mayor cantidad de vacíos serán ocupados, lo que contribuye a mejores valores de resistencia (Chan, Rómel y Moreno, 2003). Con el propósito de comprobar la resistencia a la que fue diseñada una determinada mezcla se realizan ensayos en moldes cilíndricos por un periodo de 28 días, sin embargo, se debe tener presente que en ocasiones el concreto después de encontrarse en estado sólido, no siempre se encuentra en una zona con las mejores condiciones atmosféricas para alcanzar valores máximos (Quintero, Herrera y Corzo; 2004).

De acuerdo con lo anterior, se busca identificar los posibles cambios en las propiedades mecánicas de 40 muestras cilíndricas de concreto simple y las variaciones en la resistencia a la compresión, teniendo en cuenta como factor o variable principal el origen del agregado grueso, mediante un ejercicio de análisis experimental en el casco urbano de la ciudad de Bogotá D.C.

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 De acuerdo al origen del agregado. Las variaciones de la resistencia en las mezclas del concreto y de los materiales que lo componen han sido objeto de estudio en diversas investigaciones que ponen de manifiesto la importancia del origen del agregado. En este sentido, a continuación, se dan a conocer algunos de los avances en la materia que consolidan y aportan de manera importante al presente objeto de estudio. En ocasiones las estructuras son construidas sin ningún control que garantice la calidad de la mezcla, por lo que en este fenómeno hay variaciones en las propiedades físicas del hormigón; lo anterior demuestra que no existe una uniformidad en los valores de resistencia a la compresión para los que se diseña una mezcla específica (Sánchez de Guzmán, 2001); en primer lugar, se encontró el estudio de Rómel Solís y Baeza Pereyra en 2003, en el cual se identifican tres variables: la relación A/C la cual es la principal fuente de variación, la relación entre gravas y arenas y la fuente de origen de los agregados, encontrando que el origen es el principal foco de dispersión en la correlación de la calidad de los agregados. Para evaluar esos factores se utilizó la alternativa de medición de la velocidad del pulso ultrasónico, técnica funcional desarrollada por primera vez por Leslie y Cheesman en Canadá entre los años 1945 y 1949, quienes lograron desarrollar criterios de aceptación para el concreto, los cuales están dados por la velocidad con que se propagan las ondas. Esta clasificación tiene una escala de valoración desde excelente hasta muy pobre y ha consolidado en el diagnóstico del estado del concreto (Solís y Baeza, 2003). En este sentido, es evidenciable que las diferencias en las propiedades y las proporciones relativas entre los agregados y el cemento, son factores en la mezcla del concreto que afectan sus propiedades elásticas, considerando la necesidad del estudio de los materiales en este tipo de prácticas con los mismos.

En 1985 Rómel realizó un estudio en el estado de Yucatán con los agregados de la zona, los cuales tenían propiedades físicas promedio, la metodología propuesta fue la preparación de 6 muestras diferentes, de agregado calizo triturado (los más utilizados en la región) y se obtuvo la curva de regresión exponencial con un coeficiente de 0.82, lo que significa que tiene una fuerte relación, el IC (Índice de calidad) de los agregados es el responsable de las propiedades elásticas de los mismos y explica la varianza en la resistencia independientemente de la velocidad, sin embargo, lo mejor para predecir la resistencia está en función de la relación A/C y la cantidad de agua por metro cúbico, mientras que el IC produce cierto grado de dispersión en la correlación (Quintero, Herrera y Corzo; 2004). Se ha demostrado que la mayor influencia de los agregados también se ve reflejada en la manejabilidad de la mezcla, así como en la exudación, segregación del concreto fresco y en la resistencia, rigidez, retracción, densidad, permeabilidad y durabilidad

del concreto en estado sólido. En mezclas con iguales condiciones de dosificación y distintos tipos de agregados, hay variaciones en los asentamientos de las estructuras, lo cual se explica por las diferencias de los volúmenes de pasta debido a las distintas dimensiones, texturas y formas en los agregados (León y Ramírez; 2010).

El fin del diseño del concreto es soportar cargas y esfuerzos estructurales, como fundamento la resistencia se determina por la calidad del cemento en proporciones de agua y arena, en las que principalmente sus características como forma, textura, mineralogía, resistencia de los agregados gruesos pueden verse modificada por los procesos de explotación, manejo y transporte, estos elementos pueden afectar la resistencia del concreto (Chan, Solís y Moreno, 2003). Los agregados forman la mayor parte del volumen de la mezcla, por lo que se consideran componentes críticos y tienen efectos importantes en el comportamiento estructural, para ello es indispensable conocer detalladamente sus componentes con el objetivo de que ni la resistencia ni la durabilidad se vean afectadas, pues están relacionadas con las propiedades físicas y químicas; La realidad a la que se enfrentan constructores e ingenieros es que en las obras en las que se emplea el concreto es muy poca la verificación de los materiales, lo que provoca que no se obtengan los resultados o comportamientos esperados (Chan, Solís y Moreno, 2003).

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del problema. En general, en todas las urbanizaciones e incluso en muchas zonas rurales hay depósitos de materiales de construcción dedicados en algunos casos solo a la producción, pero en la mayoría son compra y venta de materiales, estos pueden ser extraídos de diversos lugares, también explotados y transportados de distintas maneras, estos suelen abastecer las construcciones formales e informales realizadas por personas con conocimientos empíricos a lo largo de todas las ciudades, los agregados en condiciones óptimas no siempre son económicamente asequibles, y los materiales de fácil adquisición comúnmente no cumplen con las normas técnicas colombianas; lo que se traduce en el desconocimiento de las propiedades de los agregados por lo que no se puede garantizar un óptimo comportamiento del hormigón que se esté elaborando porque posiblemente no satisfaga los requerimientos para los que fue diseñado, específicamente la resistencia; esta problemática no solo afecta e interfiere con las exigencias de la normas de sismo resistencia NSR-10, donde se encuentra consignada la información necesaria de los rangos permitidos para las propiedades de los agregados dependiendo del uso que se le vaya a dar al concreto (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica,2010); sino también afecta la manejabilidad de la mezcla en general y sobre todo en el comportamiento de la adherencia entre pasta y agregado.

Los agregados extraídos de cantera cuentan con un soporte de calidad, basado en el archivo de todos los ensayos realizados que garantizan que son óptimos para ser

utilizados en la construcción, con este control se busca facilitar las labores del diseño de mezcla y dar un conocimiento más claro del producto que ofrecen. Además, para grandes proyectos se puede pedir el material con las características específicas que se requieran. Sin embargo, es necesario indagar en el tema con el fin de verificar dicha información, debido a que suele suceder que los comercializadores solo realizan ensayos a una parte del lote y generalmente es el que presenta las mejores condiciones físicas, de manera que cabe la posibilidad que lo que se comercializa es de una calidad inferior a lo que se ofrece (Pineda, 2009), por lo que se recomienda siempre hacer los ensayos necesarios para hacer un buen diseño.

1.2.2 Formulación del Problema. El agregado de cantera está determinado por el sitio y la forma de explotación, la primera se debe a que muchas de sus propiedades van ligadas a la geología específica de la zona, y en la segunda se debe tener especial cuidado con el tamaño máximo del mismo, el cual debe mantenerse dentro de los rangos porque existe mayor probabilidad de encontrar fisuras o fallas en partículas de gran tamaño provocada por el proceso de dinamitado o por la trituración en las canteras. Otro punto para resaltar es que la grava triturada tiene la capacidad de producir mayores resistencias que la redondeada, lo que se le atribuye a las propiedades mecánicas de trabazón por parte de los elementos angulosos, claro esto que el exceso de esta ocasionaría una disminución en la trabajabilidad de la mezcla (Pineda, 2009).

De esa manera surge la inquietud de estudiar qué influencia tiene el origen del agregado grueso que se utilizara en el concreto, teniendo en cuenta que forman un 40 a 55% del volumen total de la composición de la mezcla, es decir que son de gran importancia en la dosificación de la mezcla; también la necesidad de estudiar la incidencia en la resistencia a la compresión que puede presentar el hormigón en estado endurecido (Gutiérrez De López, 2003). En este sentido, la pregunta de investigación que ocupa el presente proyecto y que se espera pueda ser resuelta mediante el estudio, se dirige a:

¿El origen del agregado grueso en una mezcla de concreto incide en la resistencia del mismo en estado endurecido?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General. Comparar como es afectada la resistencia a la compresión del concreto con dos agregados de diferente origen provenientes de dos departamentos de Colombia, los cuales presentan características geológicas distintas.

1.3.2 Específicos.

- Caracterizar los materiales de la mezcla de concreto en el laboratorio para establecer las diferencias presentes.
- Diseñar y fundir muestras de concreto con dos tipos de agregado grueso de origen distinto, garantizando las mismas condiciones en los demás materiales de la mezcla y en el curado.
- Identificar variación en la resistencia de las muestras de concreto simple, sometiendo los cilindros realizados a ensayos de compresión a los 7, 14 y 28 días.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto es un estudio enfocado en la línea de materiales de construcción en el campo de la ingeniería civil, especialmente en el área de las estructuras que es donde más se utiliza el concreto.

Además, tiene como propósito principal identificar si el origen del agregado grueso tiene incidencia en la resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido, para lo cual se evaluó la resistencia en cada una de las etapas de fraguado. Este estudio en Ingeniería civil, tiene importancia porque se debe garantizar que los materiales que se usan en que todas las estructuras, independientemente si son con refuerzo o no, cumplan completamente con lo establecido en el Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10); donde se especifica que uno de los criterios más importantes para el diseño de los elementos que conforman una estructuras es la resistencia, por lo cual es necesario tener en cuenta cuales son los factores que afectan dicho criterio y así poder tener construcciones más seguras y confiables, también se busca minimizar las falencias que existen al momento de adquirir los materiales para una mezcla de hormigón, y se busca fomentar la adquisición de los mismos en centros de acopio certificados donde sea posible garantizar el origen y las características requeridas, esto dependiendo del uso que se le vaya a dar a la estructura. Teniendo en cuenta lo anterior y que los agregados forman la mayor parte del volumen total de la mezcla, este proyecto de investigación analizará el comportamiento del agregado grueso en el concreto. El estudio permitirá identificar las variaciones por medio de la carga que soporten los

cilindros a los 7, 14 y 28 días, con los que se verifica el diseño en la mezcla hecha con el agregado de la cantera de Villavicencio y se analiza cómo se comporta la mezcla con agregado de Mosquera conforme a la resistencia diseñada. Para el análisis se hizo la elección de las canteras considerando que se encontrarán en lugares con distintas características geológicas y mineralógicas, además que tuvieran una forma de extracción diferente, esto con el propósito de observar cómo estos factores afectan o contribuyen al óptimo comportamiento de la mezcla y a la resistencia final.

1.5 DELIMITACIÓN

1.5.1 Espacio. Se hace uso de materiales traídos directamente de dos canteras ubicadas una en el departamento del Meta y otra en Cundinamarca (Villavicencio y Mosquera), específicamente para la obtención del agregado grueso. Además de cemento certificado y arena de río, adquiridos en una ferretería cercana a las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia, donde se va a realizar la caracterización de los todos los materiales para garantizar sus propiedades, para lo cual se hará uso de los laboratorios con los que cuenta el establecimiento.

1.5.2 Tiempo. La presente investigación abarca un tiempo aproximado de 5 meses incluyendo todo el proceso en la elaboración del anteproyecto y las fases de ejecución del mismo, las cuales se explican a continuación:

1.5.2.1 Caracterización de los materiales. Se establece un tiempo aproximado de 2 meses en los cuales se hizo la respectiva elección e identificación de las canteras para la obtención del agregado grueso, para posteriormente hacer la recolección, almacenamiento y caracterización física de los materiales utilizados en la mezcla del concreto.

1.5.2.2 Fundir el concreto. Para fundir los 20 cilindros de concreto con el agregado grueso de Mosquera y los 20 cilindros de concreto con agregado grueso de Villavicencio, se requieren 2 días.

1.5.2.3 Pruebas de resistencia a la compresión. Cumpliendo con los requerimientos de tiempos de fraguado del concreto, los cilindros serán fallados a los 7, 14 y 28 días; para lo cual se estima un tiempo de 1 mes.

1.5.3 Contenido. Esta monografía cuenta con una recopilación de información teórica necesaria para sustentar la importancia del mismo a partir de documentos oficiales e investigaciones sobre temas similares; de igual forma tiene todo el soporte de la parte práctica-experimental que se requiere para hacer las conclusiones del estudio.

1.5.4 Alcance. Este proyecto de investigación se limita a hacer un análisis de la resistencia a la compresión del concreto simple cuando se utilizan dos tipos de agregado grueso traído de dos zonas geográficas específicas (Mosquera y Villavicencio), con condiciones de extracción distintas.

1.6 MARCO CONCEPTUAL

1.6.1 Concreto u Hormigón. Es la única roca fabricada por el hombre y se define como la mezcla homogénea de cemento portland el cual le brinda propiedades adhesivas y cohesivas junto con el material de relleno que serán los agregados o áridos finos y gruesos en diferentes proporciones, en conjunto con el agua y en ocasiones con aditivos, los cuales juntos al endurecerse son capaces de soportar grandes esfuerzos a compresión pero tiene una debilidad y no es bueno para la tracción (Sánchez de Guzmán, 2001).

1.6.2 Agregados o Áridos. Representan el mayor volumen (70 a 80%) en la constitución del concreto, son los materiales naturales o artificiales de forma granular que junto con el agua y la pasta de cemento forman el concreto; se pueden considerar todos los materiales que tengan una resistencia del grano suficiente y que garanticen una adherencia suficiente con la pasta endurecida del cemento, no desarrollan ningún tipo de reacción química con los demás componentes del concreto debido a que son materiales inertes. Por último a lo largo del tiempo se han clasificado de varias maneras, pero principalmente según su tamaño, procedencia (naturales o artificiales) y la densidad (Sánchez de Guzmán, 2001).

1.6.3 Agregado Grueso. En términos de ingeniería civil y constructivos, es uno de los materiales que compone la mezcla para formar el concreto, posee características de resistencia que aporta al hormigón para soportar esfuerzos a compresión, es denominado según su granulometría en (Gravilla, grava, Piedra, rajón, piedra bola), generalmente es material retenido en el tamiz No. 4, con un tamaño entre 7.6 mm y 4.76 mm; las formas de obtener sus diferentes densidades son indicadas por la Norma NTC No. 176 (Gutiérrez de López, 2003).

1.6.4 Materiales de construcción. Son insumos o materias primas básicas para llevar a cabo procesos constructivos, siendo la construcción un amplio campo de crecimiento económico, estos pueden ser de orígenes naturales y artificiales, puesto que su extracción acarrea impactos sobre economías locales y regionales (Aguilar, León y Meléndez, 2006). De los materiales es necesario conocer bien sus propiedades para poder establecer el comportamiento que tendrán (Vázquez, 2001).

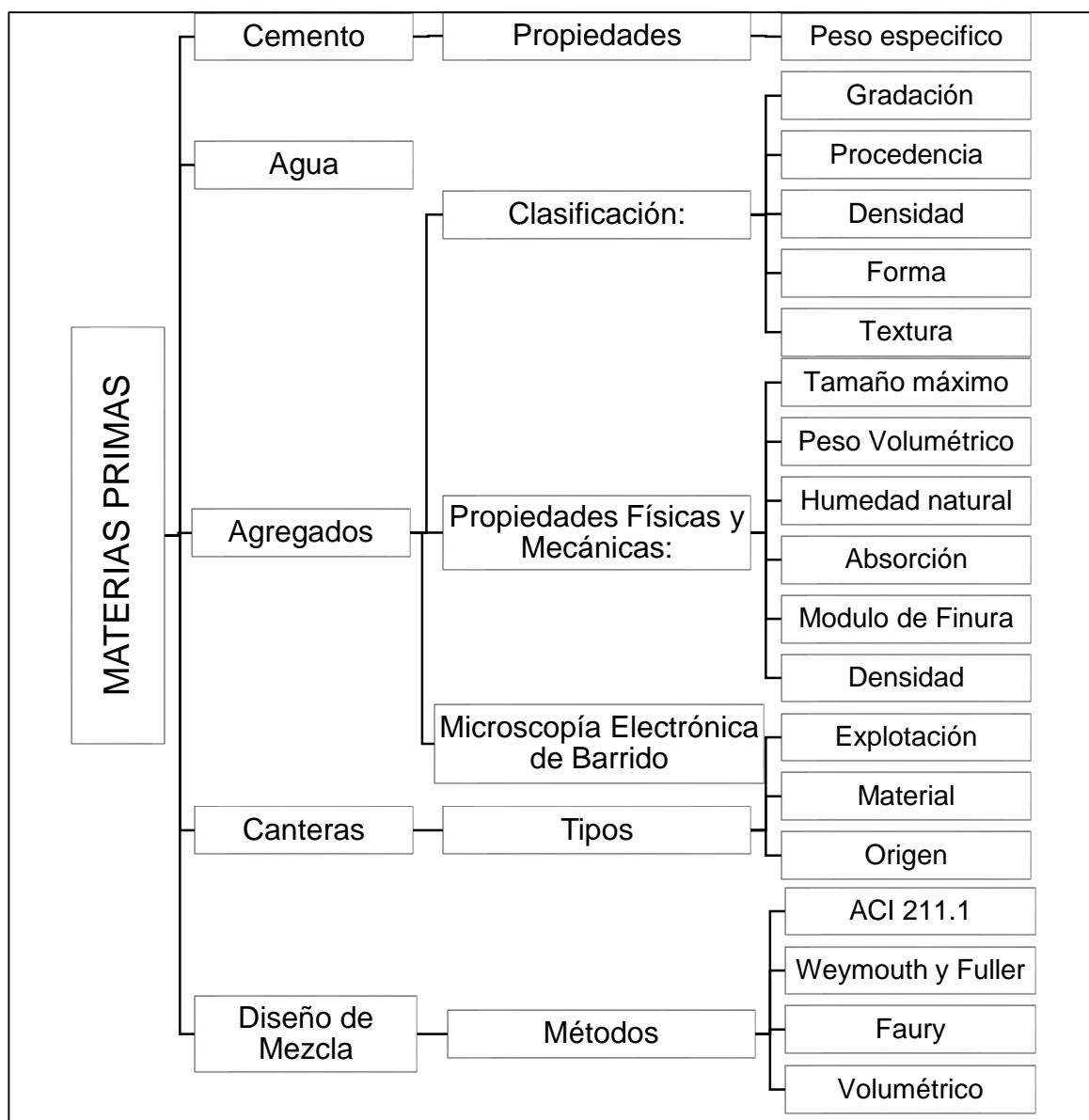
1.7 MARCO HISTORICO

En Grecia y Roma se hicieron morteros a base de caliza calcinada y agua con arena, posteriormente se incorporó piedra triturada, tejas o ladrillo, dando origen al *primer concreto de la historia* (Sánchez de Guzmán, 2001). En el siglo XII se mejoró la calidad en la calcinación de la cal, en el siglo XVIII con el auge en la investigación se adelantaron estudios para encontrar el mejor mortero que soportara el azote del agua y se llegó a la cal hidráulica, se obtuvo una caliza con alto contenido arcilloso (Alejandre, 2002). En 1824 Joseph Aspdin un constructor calcinó una mezcla de tres piedras calizas con arcilla, formó lo que se conoce como Clinker (Simonnet, 2009). La invención del concreto armado se le atribuye al jardinero Jack Monieren 1861, quien fabricó un jarrón de mortero de cemento reforzándolo con una rejilla de alambre (Alejandre, 2002). En el presente siglo el concreto se ha convertido en el material de construcción más utilizado en todo el mundo esto es gracias a su versatilidad pues se puede moldear, sus funciones pueden ser estructurales y no estructurales y económicamente compite con la madera, piedra e incluso con el acero, posee gran resistencia a la compresión, pero no a las tracciones ni flexiones, virtud que, si posee el acero, entonces al estar asociados se suplen dichas deficiencias y funcionan perfectamente. Las propiedades y características del concreto se estudian para determinar el diseño que se adapte a las condiciones específicas que requiera un determinado proyecto (Ferguson, 1961).

2. MARCO TEÓRICO

Para poder contextualizar cada uno de los parámetros que intervienen en la presente investigación, se pretende describir y dar a conocer las principales características de cada uno de los materiales que inciden en la elaboración de la mezcla, haciendo un énfasis particular en todo lo referente a los agregados que es el tema central de esta investigación, incluyendo información teórica sobre algunos de los métodos que existen para elaborar el diseño de mezcla (Ver ilustración 1):

Ilustración 1. Mapa conceptual de materias primas.



Fuente: Los autores.

2.1 CEMENTO

El cemento portland hidráulico es el que se utiliza en la mezcla de concreto convencional, caracterizado por sus propiedades de adhesión y cohesión que lo hacen un componente importante de la mezcla, ya que funciona como aglutinante que cuando está en conjunto con el agua y el aire, se encarga de unir el material de relleno que son los agregados junto con el agua, la unión de estos elementos permite el adecuado comportamiento del concreto. El grado de hidratación depende de su composición química, el grado de finura de sus partículas, la velocidad del fraguado y de la resistencia mecánica que son capaces de desarrollar. Además, el cemento es el más económico y versátil que existe en el mercado, es el único que adquiere características de roca (duración, dureza e impermeabilidad) cuando se endurece junto con los demás elementos, pues cuenta con la propiedad de fraguar y endurecer en presencia del agua, debido a las reacciones químicas que surgen por la interacción agua- cemento, y se ve reflejado en la resistencia a la compresión que presenta el hormigón cuando cumple su tiempo de fraguado. Igualmente le proporciona a la mezcla la propiedad de la manejabilidad, la cual es muy importante en el concreto en estado fresco (Sánchez de Guzmán, 2001).

2.1.1 Propiedad del cemento.

2.1.1.1 Peso específico: es la relación entre la masa de una cantidad dada y el volumen absoluto de esa masa (Sánchez de Guzmán, 2001). Esta relación debe estar a cierta temperatura con importancia de su constancia en estado fresco de la mezcla del concreto (Cañas, s.f).

2.2 AGUA

El agua es un componente generador de efectos importantes en el concreto convencional, representa aproximadamente el 10 y 25% del mismo. Para garantizar el comportamiento adecuado de una estructura en concreto o mortero es recomendable el uso de agua potable, frecuentemente este recurso presenta características fisicoquímicas que son dañinas como grasas, aceites, azúcares y ácidos; el exceso de impurezas en el agua causa afectación en las propiedades del concreto, por ello es necesario corroborar caracterizaciones adecuadas en el uso del agua potable, satisfaciendo determinados requisitos mínimos de calidad (Vázquez, 2012).

2.3 AGREGADOS

Los agregados son partículas inorgánicas o inertes que hacen parte del concreto en un 75% del volumen total, por lo cual son igual de importantes al cemento, el agua, el aire atrapado naturalmente o sus aditivos; los agregados deben tener buena resistencia y durabilidad, porque gran parte de las características finales del mortero en estado plástico o endurecido, están ligadas a las propiedades de los agregados

por lo cual deben tenerse en cuenta para obtener concreto de buena calidad (Rivera,2009).

2.3.1 Clasificación De Los Agregados. Se pueden establecer diferentes formas de clasificación de los materiales pétreos por medio de distintos aspectos como el tamaño de sus partículas, procedencia, composición mineralógica, entre otros (Giraldo, 2003).

2.3.1.1 Según Su Gradación O Tamaño. Es la forma más popular de clasificar los agregados debido a que los tamaños varían mucho, por lo cual la distribución del tamaño se da por lo que se conoce como granulometría y de realizar este análisis se dividen en dos grupos (Giraldo, 2003).

Agregado grueso: el material que se define como agregado grueso es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 (4,75mm), que proviene de la desintegración natural (acción del viento y otros agentes atmosféricos) o mecánica de las rocas. Tienen pesos específicos de 1600 a 1700 kg/m^3 . Para el agregado grueso se recomienda que la superficie debe estar libre de impurezas como limo, materia orgánica y arcilla, porque con esto se reduce la cantidad de finos indeseables y la cantidad de agua necesaria para la mezcla, además debilita la buena adherencia con el cemento lo que se traduce en un beneficio para el concreto (Giraldo, 2003).

También se recomienda utilizar tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ "(20mm) primero porque es uno de los tamaños más comunes comercialmente y además porque mejora la trabajabilidad del concreto. Igualmente, otro factor importante a considerar es que los ensayos indican que las gravas o rocas trituradas tienen una superficie rugosa que les proporciona una mejor cohesión y dan resistencias ligeramente superiores en comparación con los que son hechos con gravas redondeadas (Giraldo,2003).

Agregado fino: una de las características principales del agregado fino (arena) en la mezcla del concreto es que no interviene en las reacciones químicas entre cemento y agua, este debe ser durable, fuerte, limpio, duro y libre de materias impuras como polvo, limo, pizarra, álcalis y materias orgánicas (Harmsen, 2005).

Además es importante tener en cuenta la consideración de dos elementos como lo es el módulo de finura y la continuidad en los tamaños, obedeciendo de esta forma a las relaciones granulométricas de finuras aceptables, para evitar mayores consumos de cemento y agua para una resistencia determinada, y también la probabilidad que ocurran agrietamientos de tipo contracción por secado, el agregado fino puede ser arena fina y gruesa (Cruz, Pico y Pérez, 2015).

2.3.1.2 Según Su Procedencia.

Agregados Naturales: son todos aquellos procedentes de la explotación de fuentes naturales como: depósitos fluviales de los cuales se obtienen arenas y gravas, o de glaciares donde se adquieren los cantos rodados o por la disgregación del macizo rocoso, estos tienen un tratamiento más complejo que los materiales de río porque se requieren plantas, que cumplen con la función de limpiarlos, triturarlos, clasificarlos por tamaños y de almacenarlos en acopios (Blásquez, s.f).

En esta clasificación hay un material que es producto de la trituración de los sobre tamaños del material de río, estas partículas al ser resultado de una fragmentación natural ya sea por meteorización, abrasión o trituración, tienen origen en una masa mayor (roca madre) de la cual se fragmentaron por la cual conservan sus propiedades mecánicas y composición mineralógica (Gutiérrez de López, 2003).

Agregados artificiales o sintéticos: en esta clasificación se encuentran materiales diversos entre ellos productos de desecho o de procesos industriales, materiales calcinados, escombros procedentes de demoliciones y agregados manufacturados con características mejoradas y comúnmente tienen mayor o menor densidad que los agregados comunes. Para concretos de baja resistencia se usan materiales orgánicos como cascarilla de arroz, café o palma, mezclados con otros materiales, con el propósito de reducir los costos (Bañón, s.f).

2.3.1.3 Según Su Densidad. Se clasifican según su masa por unidad de volumen incluyendo el volumen de los vacíos (ver tabla 1); en esta división tiene importancia en concretos ligeros, normales y pesados; los cuales tienen distintos usos en la industria (Rivera, 2009).

Tabla 1. Clasificación de agregados según su densidad.

TIPO DE CONCRETO	MASA UNITARIA DEL AGREGADO kg/m^3	USOS
ULTRALIGERO	< 480	En aislamiento
LIGERO	480-1040	Rellenos y mampostería
NORMAL	1300-1600	Concreto estructural y no estructural
PESADO	3400-7500	Concreto de protección de radiación gamma y para contrapesos

Fuente: Los autores.

2.3.1.4 Según Su Forma. Los agregados tienen distintas formas y estas dependen del tipo de roca, por ejemplo: las que provienen de depósitos aluviales tienen formas redondeadas mientras que los materiales que son resultado de la trituración tienen formas variadas que van desde cubos a poliedros con partes alargadas o aplanadas; entre las divisiones que se encuentran están: las redondeadas, irregulares, escamosas o laminadas, angulares y alargadas; las diversas formas que se pueden presentar afectan la trabajabilidad, resistencia y durabilidad de la mezcla, porque se forman vacíos que perjudican el concreto en estado endurecido (Rivera, 2009).

2.3.1.5 Según Su Textura Superficial. Se hace referencia a la degradación que presenta la partícula en su superficie, estas características tienen incidencia en las propiedades del concreto por ejemplo en la adherencia entre agregado y mezcla, incluso influye en la fluidez de la mezcla en estado fresco; entre las texturas conocidas están vítrea, lisa, granular, áspera, cristalina y con forma de panal (Sólís y Baeza, 2003).

2.3.2 Propiedades Físicas Y Mecánicas De Los Agregados. Los agregados se pueden clasificar por diversas características entre las más importantes están: la forma y textura, la absorción, la densidad, la adherencia, la resistencia, todas estas pueden afectar la resistencia del concreto en grados distintos; cabe resaltar que son provenientes de un depósito de origen natural y por trituración de la roca. Además, por su tamaño se pueden estudiar estos elementos, donde se dividen en dos grupos los gruesos (5mm hasta 125mm) y los agregados finos (5mm hasta 60mm); De acuerdo a su peso específico se dividen en ligeros, normales y pesados; por ultimo otra característica es la granulometría de los agregados y el tamaño máximo de las gravas los cuales influyen en los comportamientos en estado plástico y endurecido (Sólís y Baeza, 2003).

La propiedad del agregado que más influye en la consistencia del concreto en estado fresco es la absorción, porque las partículas filtran el agua en el proceso de mezclado lo que disminuye la manejabilidad de la mezcla. Otros factores son la forma, tamaño y gradación. Las condiciones óptimas para lograr una buena consistencia y manejabilidad serán partículas con coeficientes de forma buenos que las hacen casi redondas o angulares y con bajos índices de absorción para conservar el agua. (Chan, Solís y Moreno; 2003). La granulometría y el tamaño máximo del agregado (TMA) afecta los requisitos de agua y cemento, trabajabilidad, economía y durabilidad del concreto, porque cuando son muy gruesos o tienen exceso de algún tamaño producen mezclas muy rígidas, mientras que los que tienen una curva granulométrica suave tienen mejores resultados en las propiedades del concreto fresco (Gutiérrez de López, 2003).

Por otro lado, en estado endurecido se establece que la roca triturada tiene una adherencia superior comparado con la grava de canto rodado, un estudio encontró

que los concretos hechos con agregado grueso triturado resistieron más que los hechos con canto rodado, se fallaron a compresión a los 28 días y los de canto rodado dieron resultados entre el 10 y el 20% más bajos que los fabricados con agregado triturado (Chan, Solís y Moreno; 2003).

Los agregados contaminados pueden ser la causa de la reducción de la resistencia a la compresión del concreto y además puede contener sustancias nocivas que afecten químicamente el material de diversas formas; El volumen de los agregados en la mezcla tiene una incidencia positiva en su resistencia y en sus características plásticas, contracción por secado y permeabilidad; La forma de las partículas del agregado grueso y sus características pueden influir en el valor del módulo de elasticidad del concreto y en la curva que representa la relación esfuerzo-deformación, en conjunto con otras investigaciones dicen que el tamaño máximo del agregado también incide en dichas gráficas y valores que se incrementan si los tamaños son grandes de los materiales pétreos (Solís y Moreno; 2006).

2.3.2.1 Agregado Grueso.

Tamaño máximo: según la Norma Técnica Colombiana, el tamaño máximo del agregado grueso es tomado como un requisito de gradación específico, el cual depende de las especificaciones del proyecto y debe ser apropiado, indicado y pertinente (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2000). Este parámetro utilizado en las mezclas del concreto tiene influencia de acuerdo a la economía del mismo, ya que por lo general se necesita más agua y cemento para agregados de tamaño pequeño que para los agregados de tamaños mayores (Polanco, s.f).

Peso volumétrico seco: se entiende como el peso del agregado requerido para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado, este volumen es aquel que ocupan los agregados y el que ocupan los vacíos entre las partículas de agregado (Polanco, s.f).

Absorción: es la relación que existe con la humedad superficial de los agregados, los cuales se encuentran constituidos de materia sólida y de vacíos que pueden contener agua o no, de ahí la importancia de controlar el contenido neto de agua en el concreto, ya que esta información es requerida para obtener las cantidades dosificadas en pesos para la mezcla de concreto (Polanco, s.f).

Humedad natural: en los suelos el contenido de humedad es el parámetro que controla la velocidad de circulación de los límites, su medida es expresada en porcentaje referido al suelo sueco, como la magnitud de agua contenida dentro del mismo, los métodos utilizados para su medición son: gravimétricos, densimétricos y eléctricos (Maderey, s.f).

2.3.2.2 Agregado Fino.

Módulo de finura: esta propiedad hace referencia a el tamaño medio del árido empleado en una mezcla de concreto (Rodríguez, 2003), también se conoce como el índice que sirve para clasificar los agregados pétreos en función de sus tamaño, para lo cual se hace el ensayo de granulometría (Jeria, s.f).

Densidad: es la masa por unidad de volumen, en la cual se incluyen el volumen de los vacíos (Gutiérrez de López, 2003). También se conoce como la relación del peso del agregado y el peso del volumen desplazado del agua debido a la inmersión del mismo. (Polanco, s.f). De acuerdo a la densidad, se pueden clasificar los agregados (ligeros: 480-1040 kg/m³ y normales: 1300 y 1600 kg/m³).

Absorción: es la capacidad que tiene el agregado de almacenar agua o cualquier otro líquido, esta propiedad está relacionada directamente con la porosidad que presenten las partículas, junto con la cantidad y el tamaño de los poros, además de la continuidad que tengan los mismos (Gutiérrez de López, 2003).

Humedad natural: es la relación que hay entre el peso de la muestra en estado original que contienen humedad y el peso después de que ha sido secada en el horno hasta masa constante, o también conocida como el volumen de humedad presente respecto al volumen total de la muestra (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, 2013).

2.3.2.3 Microscopía Electrónica De Barrido SEM. El primer microscopio electrónico de barrido se desarrolló en 1930 en Alemania, pero hasta 1964 se presentó el modelo comercial por “The Cambridge Scientific Instrument Company” (Universidad Autónoma de Madrid, 2004). El sistema consiste en reflejar un haz de electrones sobre una determinada muestra que permite registrar en una pantalla la señal emitida por unos tubos de rayos catódicos (Renau y Faura 1994).

Descripción: esta tecnología permite hacer un análisis cualitativo de distintos tipos de materiales, haciendo una caracterización topográfica, composicional, textual, cristalografía y eléctrica. Gracias a su alta resolución permite que las imágenes tridimensionales tengan una gran versatilidad y permitan realizar múltiples análisis por los resultados obtenidos por medio de los detectores (Universidad Pablo Olavide Sevilla). Pero como los electrones tienen poca penetración solo es posible usarlo para estudiar superficies, y es el mejor método que hay porque la imagen que entrega es el resultado de un “barrido” que hace el haz de electrones en el área determinada de estudio (Robbins, 2015).

Componentes del microscopio de barrido: cuenta con una fuente de energía, detectores de electrones secundarios, retrodispersadores, lente magnética, detector de electrones transmitidos, detectores de catodoluminiscencia, sistema combinado de microanálisis y textura por medio de Rayos X, sistema Kleindiek de micro

manipuladores y nano sondas, para caracterización eléctrica a nano escala (Serving Advance Technology).

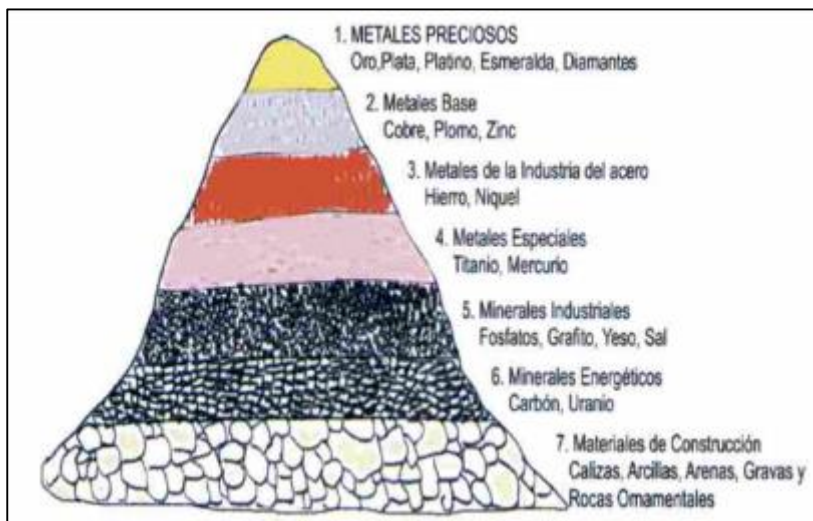
Aplicaciones: Gracias a que proporciona información morfológica, topográfica y composicional de los materiales es usado en concretos y áridos por ejemplo para determinar la mineralogía de cementos, agregados, para hallar las fases reactivas de los productos expansivos, el índice de vacíos, crecimientos cristalinos, texturas, figuraciones, porosidades, fragilidad, etc. (Naik) En materiales metálicos y orgánicos se pueden hacer estudios de corrosión de superficies y oxidaciones, espesores y distribución de capas, análisis morfológico y fractográfico (González, s.f)

2.4 CANTERAS

En Colombia los materiales de construcción juegan un papel importante en la industria del País porque son materia prima para todo tipo de obra civil. En 1910 con la llegada de las maquinas a vapor, la industria fue creciendo y la obtención del material se hizo más fácil, pero se crearon problemáticas por el impacto ambiental y social que se generaba por estar muy cerca a los pueblos. Ya en 1930 empiezan las explotaciones de materiales para la construcción como calizas, yeso, arcilla y gravas (Ministerio de Minas y Energías, s.f).

Con el código de Minas y según la Ley 685 de 2001, artículo 11. Materiales de construcción, se establecen todos los efectos legales pertinentes para la explotación en minas y canteras. Esta ley aplica para los materiales provenientes del arrastre por las corrientes de agua y demás terrenos aluviales, tales como arenas, gravas y piedras. Por lo cual el otorgamiento, vigencia y derecho de explotar los materiales, se regula únicamente por la autoridad minera, los materiales de construcción ocupan el séptimo lugar en la clasificación de los minerales en Colombia (ver ilustración 2) (Ministerio de Minas y Energías, s.f).

Ilustración 2. Clasificación de los minerales en Colombia.



Fuente: Ministerio de minas y energía.

El material explotado en Colombia proviene de las zonas de cordillera como el altiplano cundiboyacense, los Santanderes, Valle del cauca, Nariño, Antioquia, Huila, Caldas y Quindío. Por la condición montañosa de estas zonas se requiere el uso de maquinaria pesada y de voladura para la fragmentación y transporte del material, por lo que esta actividad constituye fuente importante de empleo en la región donde se produzca (Ministerio de Minas y Energías, s.f).

El material proveniente del lecho de los ríos, viene de las zonas planas de los departamentos de Casanare, Meta, Arauca, Vichada, Guainía, Amazonas, Putumayo y de la Región Caribe. Para su explotación se realizan excavaciones en forma de piscinas “dársenas”, se realizan perpendicularmente a la dirección del cauce del río con el fin de que en época de invierno se llenen para proveer rocas y sedimentos arrastrados por las crecientes que suelen presentarse (Gutiérrez de López, 2003).

2.4.1 Tipos De Canteras.

2.4.1.1 Según el tipo de explotación.

- Canteras a Cielo Abierto
- Canteras Subterráneas

2.4.1.2 Según el material de explotación.

- Material consolidado (roca)
- Material no Consolidado (terrazas aluviales y arcillas)

2.4.1.3 Según su origen.

Canteras Coluviales: son aquellas acumulaciones de litología homogénea en las que el material tiene una granulometría diversa y una forma angular derivada de una roca matriz limo arcillosa, que se ha formado por la alteración y desintegración en el sitio del macizo rocoso ubicado en las laderas superiores adyacentes que cuando caen por acción de la gravedad y van formando suelo. Son materiales generalmente con menor dureza que los de río; sus características están ligadas a la historia geológica de la región donde se encuentren (Gutiérrez de López, 2003).

Canteras aluviales o fluviales: en estas los agentes naturales son los ríos y gracias a los efectos de la erosión transportan durante largos recorridos las rocas haciendo que se aproveche su energía cinética para depositarlas en ciertas zonas formando grandes depósitos. Los materiales de este tipo de cantera son óptimos para las obras civiles porque al ser transportador por el agua, son sometidos a un desgaste constante que deja como resultado solo a las partículas que tienen mayor dureza (Gutiérrez de López, 2003).

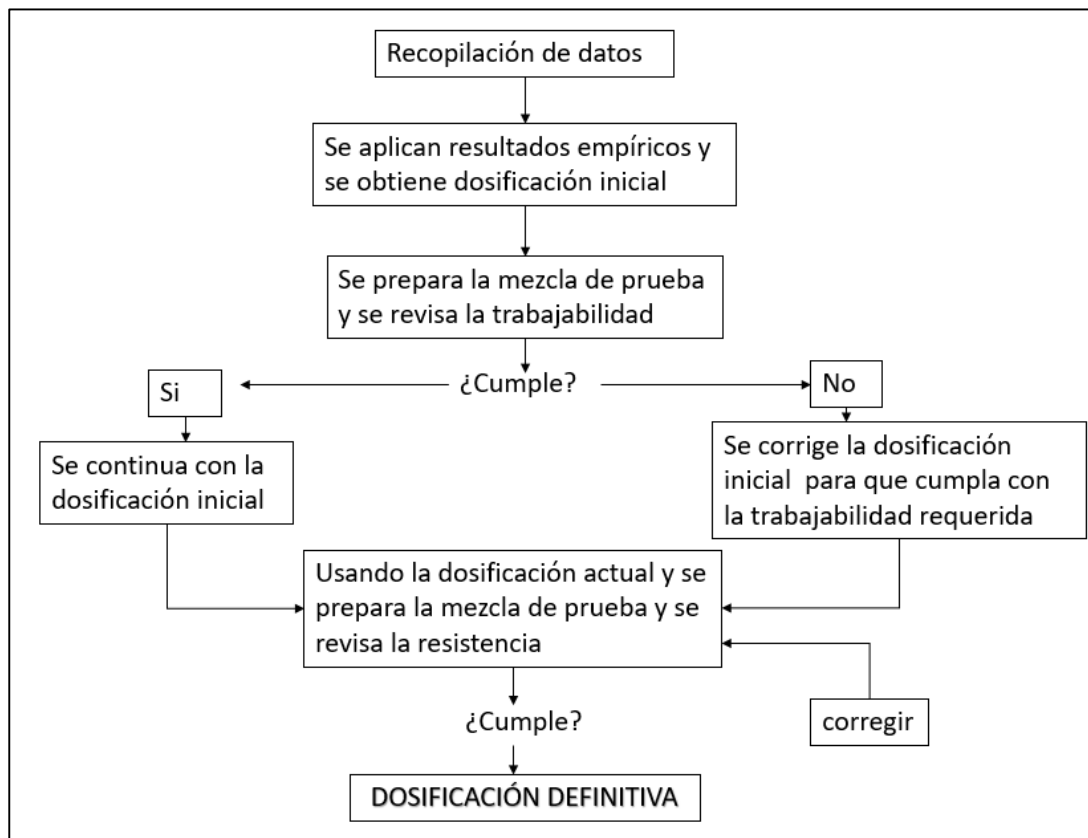
2.4 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

2.5.1 Métodos para el Diseño de mezcla. Los métodos para hacer un diseño de mezcla de concreto van desde los analíticos experimentales y empíricos, hasta aquellos que son volumétricos. Todos han ido evolucionando a tal punto que van acorde a las necesidades de los proyectos e incluso hay guías normalizadas para darle cumplimiento a la calidad del concreto. Entre los métodos existentes están:

2.5.1.1 Método ACI 211.1. El Instituto Americano del Hormigón se basó en extensas investigaciones y trabajos experimentales; por lo cual es un método con resultados aceptables para concretos normales que tienen masas unitarias entre 2 y 2,5 Mg/m³, y para resistencias menores a 42MPa.

Este método se basa en tomar medidas de peso y volumen de los elementos que conforman el concreto (cemento, agua, grava y arena) y se diseña para estado fresco y endurecido. Además, toma de referencia la norma ASTM C33, donde se hace referencia a las especificaciones granulométricas de los agregados. También se debe tener en cuenta el tipo de obra para el que se va a diseñar y los materiales que se implementaran (Romero y Hernández, 2014), el procedimiento que se debe seguir para aplicar el método se esquematiza en un algoritmo (ver ilustración 3).

Ilustración 3. Diseño de mezclas de concreto por el método ACI.



Fuente: Autoría propia, adaptado de Romero & Hernández 2014

Para el diseño inicial se debe seguir los siguientes pasos:

1. Elegir el asentamiento, en función de la consistencia y el grado de trabajabilidad.
2. Elección del tamaño máximo nominal (TMN)
3. Se estima el contenido de aire, debido a que este beneficia a la mezcla en la manejabilidad y cohesión de la mezcla.
4. Estimación de la cantidad de agua, para el beneficio de la manejabilidad, adherencia e hidratación.
5. Estimación de la relación agua cemento (a/c).
6. Se calcula el contenido de cemento
7. Se verifica la granulometría
8. Se ajusta la cantidad de agua debido a la humedad de los agregados

2.5.1.2 Método Weymouth y Fuller-Thompson. Es un método general y es aplicado desde 1907 cuando seleccionaron una curva granulométrica continua para la composición óptima de los agregados, de donde sale una fórmula que relaciona el tamaño máximo del agregado y la abertura del tamiz por el que pasan. Es recomendable usarlo cuando los agregados no cumplen con la norma ASTM C 33.

Además se debe usar en dosificaciones con más de 300 kg de cemento por cada metro cubico de concreto, para un tamaño máximo de agregado grueso entre $\frac{3}{4}$ " (20mm) y 2" (50mm) y para agregados preferiblemente de forma redondeada (Giraldo,1987).

2.5.1.3 Método Bolomey. Es un método analítico usado desde el año 1925, se propuso una curva granulométrica continua del agregado más cemento, aspecto en que se parece al método de Fuller- Thompson. Su aplicación es más utilizada en la dosificación de concreto para grandes estructuras como presas (Giraldo,1987).

2.5.1.4 Método Faury. Fue propuesto en 1942, y consiste en una nueva ley granulométrica de tipo continuo y depende de la raíz quinta del tamaño del agregado. Faury propone que hay dos tipos de agregado: los finos y los medios, estos son los comprendidos en un tamaño equivalente a la mitad del tamaño máximo de la totalidad de los agregados y por ultimo están los gruesos que son tamaños mayores. Es aplicado en estructuras prefabricadas de concreto u otros concretos armados (Giraldo,1987).

2.5.1.5 Método volumétrico. Es el método empírico más antiguo para mezclas de concreto, se usa bastante por su practicidad y comodidad, se calculan cantidades para un metro cúbico, algunos valores recomendados para las proporciones de los materiales para distintos valores de resistencia a la compresión del concreto (ver tabla 2).

Información requerida para el diseño

- Análisis granulométrico de los agregados
- Peso unitario compactado de los agregados (fino y grueso)
- Peso específico de los agregados (fino y grueso)
- Contenido de humedad y porcentaje de absorción de los agregados
- Perfil y textura de los agregados
- Tipo y marca del cemento
- Peso específico del cemento

Tabla 2. Proporciones de material.

DOSIFICACIÓN DEL CEMENTO POR METRO CUBICO (kg/m ³)	PROPORCIONES			LITROS		
	CEMENTO	ARENA	GRAVA	CEMENTO	ARENA	GRAVA
100	1	6	12	75	450	900
150	1	4	8	110	440	880
200	1	3	6	145	435	870
250	1	2,5	5	170	425	850
300	1	2	4	207	415	830
350	1	2	3	240	480	720
400	1	1,5	3	263	395	790
450	1	1,5	2,5	290	435	725
500	1	1	2	360	360	730

Fuente: Adaptado de UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO. Diseño de mezclas de concreto. (Aguilar, León y Meléndez, 2006).

3. METODOLOGÍA

TIPO DE ESTUDIO

Es un estudio de investigación teórico, práctico y experimental acerca de la influencia que tiene el origen de los agregados gruesos en el comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto.

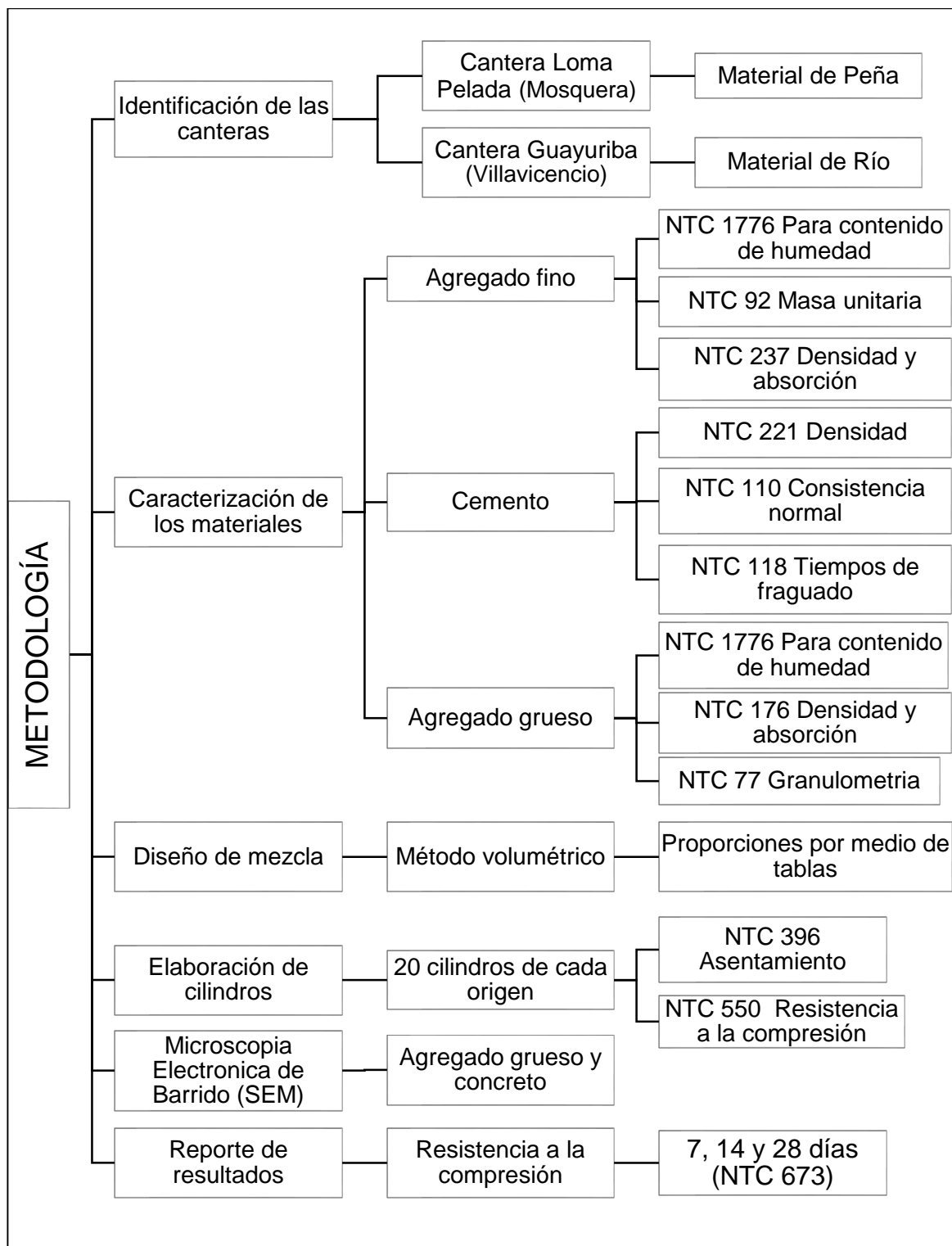
FUENTES DE INFORMACIÓN

Se hace una revisión bibliográfica para localizar la mayor cantidad de documentos que contengan información que pueda contribuir a la línea de investigación del presente proyecto, que abarca a todos los elementos que intervienen en la elaboración de una mezcla de concreto especialmente cómo influye el origen de los agregados gruesos en la resistencia final del concreto. Para lo cual se implementaron fuentes de información inmediata como: monografías de estudios similares, libros especializados en el concreto con observaciones de ingenieros con amplio conocimiento en el tema, artículos científicos con el aval de agentes internacionales.

ETAPAS METODOLÓGICAS

Para alcanzar los objetivos propuestos al comienzo del presente trabajo, es preciso desarrollar una metodología teniendo en cuenta lo anteriormente planteado en la recopilación bibliográfica para seguir un orden coherente (Ver ilustración 4)

Ilustración 4. Mapa conceptual de la Metodología



Fuente: Los autores.

3.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS CANTERAS Y RECOLECCIÓN DE MATERIALES

Para la elección de las canteras para la obtención el agregado grueso, se tuvo en cuenta el origen y la forma de extracción del material, porque el objetivo de la investigación es identificar la variación de la resistencia del concreto debido a la procedencia del agregado grueso.

Por esta razón, de manera inicial se realiza la elección de las dos plantas procesadoras de minerales rocosos, utilizados como agregado grueso en las mezclas de concreto. Se realizan visitas para el debido reconocimiento de la zona y la recopilación de información, para hacer una elección que cumpla con el propósito del estudio. Por lo tanto, se eligen dos canteras, la primera encontrada en el departamento del meta en el municipio de Villavicencio con material proveniente de río, pero sometida a un proceso de trituración posterior a su extracción, y la segunda en el departamento de Cundinamarca en el municipio de Mosquera con un material de peña extraído con maquinaria pesada, ambas con formaciones geológicas diferentes y con depósitos de origen distinto.

Se utilizará arena de río es la que más se recomienda para las mezclas de hormigón y cemento marca Cemex, se adquieren en una distribuidora de materiales para la construcción cercana a las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia.

3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Caracterizar el agregado es de gran importancia para poder establecer las propiedades físicas de los materiales que se usaran en la elaboración del concreto. Así como identificar como estas intervienen en el comportamiento de la mezcla en estado fresco, como en las características finales del hormigón en estado endurecido. Por lo anterior en el presente proyecto se utilizan las Normas Técnicas Colombianas (NTC), porque allí se establecen los lineamientos y parámetros para realizar los ensayos de laboratorio para la caracterización de los materiales.

A continuación, se hace un breve resumen de las NTC requeridas para hacer la caracterización:

3.2.1 Agregado Grueso.

3.2.1.1 Tamaño máximo. Es necesario someter la muestra a el ensayo de granulometría, con el cual es posible identificar el tamaño máximo nominal, para lo cual se ordenan los tamices en forma ascendente, es así como se identifica el tamaño máximo y se hace por medio de la Norma Técnica Colombiana 77: Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos (ver tabla3).

Tabla 3. Norma NTC 77

NORMA	NTC 77 (ASTM C136-92)
DESCRIPCIÓN	Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos
OBJETO	Determinar la distribución de tamaños de las partículas que componen los agregados finos y gruesos, por medio de tamizado.
USO Y SIGNIFICADO	Los resultados se usan para determinar la correlación entre la distribución de tamaños y los requisitos dependiendo de la aplicación. También son útiles en la determinación de la porosidad y el entramamiento entre partículas.

Fuente: Los autores

3.2.1.2 Peso unitario. Según la Norma Técnica Colombiana 92: es una masa unitaria obtenida de acuerdo a los procedimientos de apisonamiento y paleo descritos en la guía, calculados a partir de formulaciones teóricas (ver tabla 4).

Tabla 4. Norma NTC 92

NORMA	NTC 92 (ASTM C29M-91a)
DESCRIPCIÓN	Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados.
OBJETO	Se determina la masa unitaria en condición compactada o suelta y el cálculo de los vacíos entre partículas de los agregados finos o gruesos. Solo se aplica a los agregados que no exceden los 50 mm de tamaño máximo nominal.
USO Y SIGNIFICADO	La determinación de la masa unitaria son los necesarios para seleccionar las proporciones de los agregados en las mezclas de concreto.

Fuente: Los autores.

3.2.1.3 Absorción y Densidad. Los valores de absorción y densidad son calculados según especificaciones de la Norma Técnica Colombiana 176: Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso (ver tabla 5).

Tabla 5. Norma NTC 176

NORMA	NTC 176 (ASTM C127-93)
DESCRIPCIÓN	Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso
OBJETO	Determinar la densidad y la absorción del agregado grueso. Densidad expresada como densidad aparente, saturada y superficialmente seca (SSS) y densidad nominal
USO Y SIGNIFICADO	Cuando se habla de densidad nominal se hace referencia a la densidad del material sólido sin incluir los poros saturables, la densidad aparente es usada en el cálculo de los vacíos del agregado

Fuente: Los autores.

3.2.1.4 Humedad natural. Se hace uso de la Norma técnica colombiana 1776: Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados (ver tabla 6).

Tabla 6. Norma NTC 1776

NORMA	NTC 1776 (ASTM C566-89)
DESCRIPCIÓN	Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados.
OBJETO	Determinar el porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado sometida a secado.
USO Y SIGNIFICADO	La determinación de la humedad en la muestra es más confiable cuando se toma del agregado suministrado, mientras que cuando es alterado por calor los valores presenten variaciones significativas. Las partículas grandes son aquellas mayores a 50mm y estas requieren un tiempo más prologado para que la humedad salga desde interior a la superficie.

Fuente: Los autores.

3.2.2 Agregado Fino.

3.2.2.1 Módulo de finura. Para poder obtener el módulo de finura, es necesario someter el agregado fino a un análisis de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana 77: Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos (ver tabla 7), en donde se obtienen datos por tamizado de los distintos tamaños que tiene la muestra, y con los cálculos de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices número $\frac{3}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ ", #4, #8, #16, #40, #50 y #100 divididos en 100, es posible determinar este valor.

Tabla 7. Norma NTC 77

NORMA	NTC 77 (ASTM C136-92)
DESCRIPCIÓN	Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos
OBJETO	Determinar la distribución de tamaños de las partículas que componen los agregados finos y gruesos, por medio de tamizado.
USO Y SIGNIFICADO	Los resultados se usan para determinar la correlación entre la distribución de tamaños y los requisitos dependiendo de la aplicación. También son útiles en la determinación de la porosidad y el entramamiento entre partículas.

Fuente: Los autores

3.2.2.2 Humedad natural. De acuerdo a lo anterior, se hace uso de la Norma técnica colombiana número 1776: Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados (ver tabla 8).

Tabla 8. Norma NTC 1776

NORMA	NTC 1776 (ASTM C566-89)
DESCRIPCIÓN	Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados.
OBJETO	Determinar el porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado sometida a secado.
USO Y SIGNIFICADO	La determinación de la humedad en la muestra es más confiable cuando se toma del agregado suministrado, mientras que cuando es alterado por calor los valores presenten variaciones significativas. Las partículas grandes son aquellas mayores a 50mm y estas requieren un tiempo más prologado para que la humedad salga desde interior a la superficie.

Fuente. Autores

3.2.2.3 Absorción y Densidad. Según especificaciones de la Norma Técnica Colombiana 237: Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado fino (ver tabla 9).

Tabla 9. Norma NTC 237

NORMA	NTC 237 (ASTM C128-93)
DESCRIPCIÓN	Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino.
OBJETO	Con el método se determina la densidad aparente y nominal a 23 °C y la absorción del agregado fino.
USO Y SIGNIFICADO	Teniendo en cuenta que la densidad es masa por unidad de volumen. Cuando se hace referencia a densidad nominal o aparente es la forma de tomar el volumen porque los agregados tienen porosidad y esta puede ser saturable o no saturable. Por lo cual si se toma el volumen externo se hallara la densidad aparente y si a este se le elimina la porosidad saturable la densidad encontrada será la nominal, pero si además se le elimina la porosidad no saturable, el volumen resultante es el material puro.

Fuente. Los autores

3.2.2 Cemento

3.2.3.1 Densidad. La Norma Técnica Colombia número 221: Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico, es la que establece los parámetros de cálculos acerca de la densidad del cemento, para poder determinar con este valor el peso específico (ver tabla 10).

Tabla 10. Norma NTC 221

NORMA	NTC 221 (ASTM C188-2009)
DESCRIPCIÓN	Método para determinar la densidad del cemento hidráulico.
OBJETO	Esta norma establece el método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico. Su principal utilidad está relacionada con el diseño y control de las mezclas de concreto.
USO Y SIGNIFICADO	Su principal utilidad se relaciona con el diseño y control de las mezclas de concreto, por eso se establecen los materiales y equipos necesarios para las practicas.

Fuente: Los autores.

3.2.3.2 Consistencia normal. Se realiza con los procedimientos descritos en la Norma Técnica Colombiana 110: Método para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico (ver tabla 11).

Tabla 11. Norma NTC 110

NORMA	NTC 110 (ASTM C187-86)
DESCRIPCIÓN	Método para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico.
OBJETO	Esta norma establece el método de ensayo para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico mediante el aparato de Vicat.
USO Y SIGNIFICADO	La consistencia normal del cemento se calcula con con una aproximación del 0,1% y esta determina la cantidad de agua requerida para obtener una pasta de cemento que satisfaga los lineamientos.

Fuente: Los autores.

3.2.3.3 Tiempos de fraguado. Según lo descrito en la Norma Técnica Colombiana 118: Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante el aparato de vicat (ver tabla 12).

Tabla 12. Norma NTC 118

NORMA	NTC 118 (ASTM C191-92)
DESCRIPCIÓN	Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante el aparato vicat.
OBJETO	Esta norma establece el método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante el aparato de Vicat.
USO Y SIGNIFICADO	Para la determinación de los tiempos de fraguado debe mantenerse la muestra dentro de una cámara humedad después del moldeo para asegurar que no sufra ninguna alteración y poder determinar la penetración de la aguja.

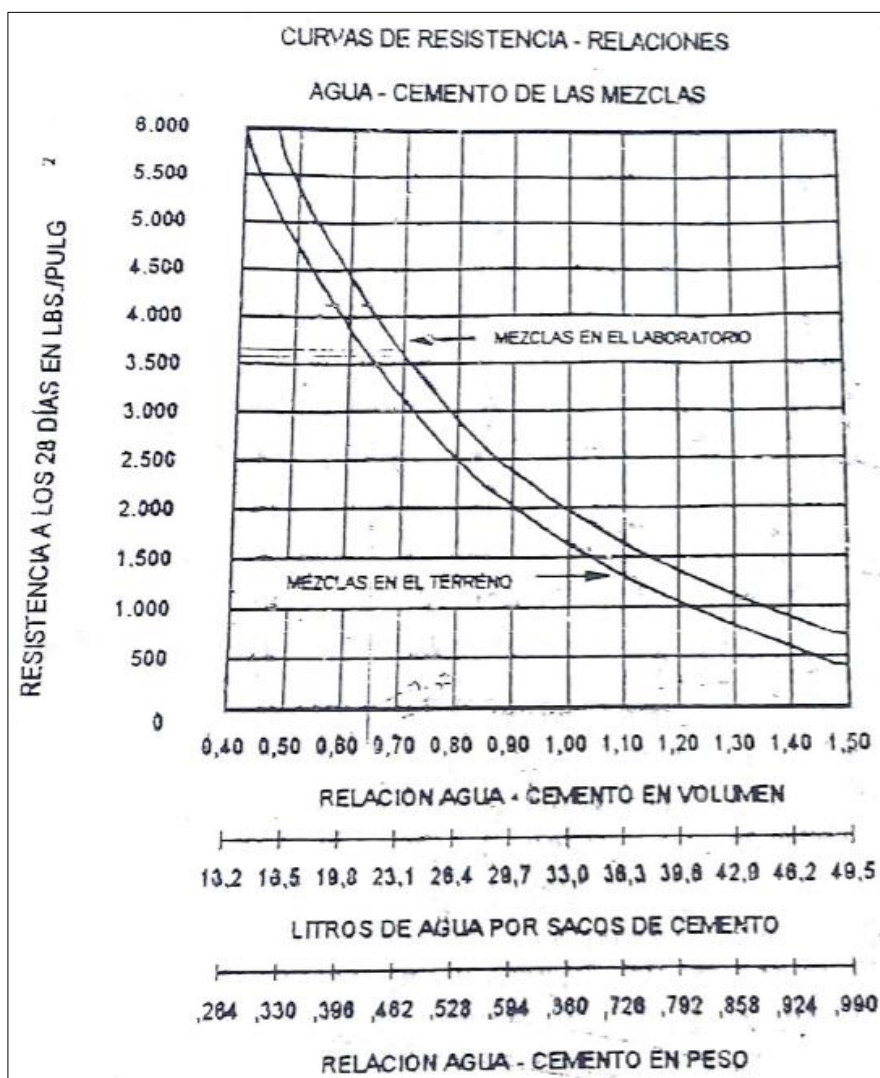
Fuente: Los autores.

3.3 DISEÑO DE MEZCLA

El diseño de mezcla se realiza de forma generalizada, es decir no se hacen para las propiedades de ambos agregados gruesos porque ambas mezclas alcanzarían resistencias de 3000 psi, es decir no habría comparación. Por ello el diseño se elabora con los resultados de las propiedades del material de Villavicencio, con el fin de observar cómo es el comportamiento del otro material bajo las mismas condiciones. Los criterios implementados son los del método volumétrico y tomando como guía las curvas y tablas del libro de construcción del Ingeniero Ángel Guillermo Rojas Vale, que se muestran a continuación:

3.3.1 Curvas de Resistencia- Relaciones Agua – Cemento de las mezclas.

Ilustración 5. Curvas de resistencia - relaciones agua - cemento.



Fuente. Apuntes de clase de construcción (Rojas, s.f)

Relación agua cemento según el tipo de construcción.

Tabla 13. Relación a/c según el tipo de construcción.

TIPO DE ESTRUCTURA		SECCIONES DELGADAS		SECCIONES MEDIAS		SECCIONES GRUESAS
		CON REFUERZO	SIN REFUERZO	CON REFUERZO	SIN REFUERZO	HORMIGON EN MASA
1	Situadas en líneas de agua, saturadas intermitentemente	0,49	0,53	0,53	0,58	0,58
2	Partes de estructuras hidráulicas a cierta distancia de la línea de agua pero sometidas a humedad	0,53	0,62	0,62	0,67	0,67
3	Estructuras comunes, edificios y porciones de puentes no incluidos en 1 ó 2	0,53	0,62	0,62	0,67	0,67
4	Estructuras continuas y totalmente sumergidas	0,58	0,62	0,62	0,67	0,67
5	Concreto vaciado en agua			0,49	0,49	0,49
6	Losas para pavimento CAPA DE DESGASTE	0,53	0,58			
	BASE	0,62	0,60			
CUANDO SE TRATA DE AGUA DE MAR EN VEZ DE AGUA DULCE PARA LAS ESTRUCTURAS COMPRENDIDAS EN 1, 2 Y 3 LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO DEBE REBAJARSE EN UN 10%						

Fuente. Apuntes de clase de construcción (Rojas, s.f)

3.3.2 Resistencia a la compresión según la relación agua cemento.

Tabla 14. Resistencia a la compresión según la relación a/c.

RELACIÓN AGUA CEMENTO EN PESO	RESISTENCIA PROBABLE A LOS 28 DÍAS EN LBS/PULG ²
0,44	5.000
0,49	4.500
0,53	4.000
0,58	3.600
0,62	3.200
0,67	2.800
0,71	2.500
0,75	2.000

Fuente. Apuntes de clase de construcción (Rojas, s.f)

3.3.3 Slumps recomendados para diversos tipos de construcción.

Tabla 15. Slump según el tipo de construcción.

TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	Slumps En Pulgadas	
	Máximo	Mínimo
Cimentación de muros y zapatas armadas	5	2
Zapata, Cajones e infraestructuras de hormigón en masa	4	1
Losas, vigas y muros armados	6	3
Columnas de edificios	6	3
Pavimentos	3	2
Construcción en masa	3	1

Fuente. Apuntes de clase de construcción (Rojas, s.f)

3.3.4 Tamaño máximo del agregado recomendado para diversos tipos de construcción.

Tabla 16. Tamaño máximo del agregado según el tipo de construcción.

DIMENSIÓN MÍNIMA DE LA SECCIÓN			TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO (en pulg)							
			Columnas, Vigas y muros armados		Muros sin armadura		Losas muy armadas		Losas poco armadas o sin armadura	
Pulg	cm	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm
2 ½-5	6-13	63-127	½ - ¾	13-19	¾	19	¾ - 1	19-25	¾-1 ½	19-38
6-11	15-28	152-274	¾-1 ½	19-38	1 ½	38	1 ½	38	1 ½ - 3	30-76
12-29	30-74	305-737	1 ½ - 3	38-76	3	76	1 ½ - 3	38-76	3	76
30 ó más	76 ó más	762 ó más	1 ½ - 3	38-76	6	152	2 ½ - 3	38-76	3-6	76-152

Fuente. Apuntes de clase de construcción (Rojas, s.f)

3.3.5 Valores aproximados del porcentaje de agregado fino y la cantidad de agua por M³ de concreto.

Tabla 17. Valores aproximados en porcentaje del agregado fino y cantidad de agua por m³ de concreto.

Gradación de agregado fino (pasa tamiz N. 4)	Tamaño máximo del agregado grueso (en pulg)	AGREGADO GRUESO REDONDEADO		AGREGADO GRUESO ANGULOSO	
		% del agregado fino sobre el agregado total en volumen absoluto	Cantidad de agua en Lts/m ³ de mezcla	% del agregado fino sobre agregado total en volumen absoluto	Cantidad de agua en Lts/m ³ de mezcla
Fino	$\frac{3}{4}$	41	183	46	198
	1 $\frac{1}{2}$	34	168	39	183
	3	28	148,5	33	163
	6	23	128,5	28	143,5
	Módulo de finura 2,2-2,6				
Medio	$\frac{3}{4}$	44	183	49	198
	1 $\frac{1}{2}$	37	168	42	183
	3	31	148,5	36	163
	6	26	128,5	31	143,5
	Módulo de finura 2,6-2,9				
Grueso	$\frac{3}{4}$	47	183	52	198
	1 $\frac{1}{2}$	40	168	45	183
	3	34	148,5	39	163
	6	29	128,5	34	143,5
	Módulo de finura 2,9-3,2				

Fuente. Construcción, Rojas Ángel Guillermo

3.4 ELABORACIÓN DE LOS CILINDROS

En esta etapa se toman todos los resultados arrojados en el diseño de mezcla porque de ahí salen las proporciones de cada uno de los elementos que conforman el concreto, se debe tener especial cuidado con esas cantidades para no afectar los resultados de la resistencia a la compresión cuando se fallen los cilindros en los periodos de tiempo estipulados.

Además, teniendo en cuenta que son 20 cilindros con cada agregado grueso, se van a realizar cuatro mezclas cada una para 5 cilindros debido a que el espacio y las adecuaciones no permiten hacer las 20 en una sola mezcla, por lo cual se deben asegurar las mismas cantidades en cada una para no alterar los resultados.

Otras medidas preventivas que se van a tomar son la correcta preparación de los moldes para evitar que se pegue el concreto antes del desencofrado y dejándolos en inmersión en el tanque los 28 días para asegurar su correcta hidratación.

A continuación, se hace un breve resumen de las NTC requeridas:

3.4.1 Asentamiento. Se hace uso de la Norma Técnica Colombiana 396. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto (ver tabla 18), la cual describe el procedimiento mediante el uso de un molde cónico y una varilla, con el concreto en estado fresco; entonces se levanta el molde y se deja fluir el concreto y se toma la medida que es el resultado de la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro del volumen desplazado de la muestra.

Tabla 18. Norma NTC 396

NORMA	NTC 396 (ASTM C 143-90)
DESCRIPCIÓN	Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.
OBJETO	Esta norma establece el método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto en la obra y en el laboratorio.
USO Y SIGNIFICADO	Si dos ensayos consecutivos sobre una determinada muestra de concreto muestran falla de una porción, quieren decir que probablemente carece de plasticidad y cohesión por lo que el ensayo no es aplicable y se debe suministrar más agua u otro método para anular la falla existente.

Fuente: Los autores.

3.4.2 Elaboración y curado. Por medio de la Norma técnica colombiana 550. Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra (ver tabla 19), se siguen los procedimientos descritos allí especialmente para fundir los cilindros como el número de golpes por capa, la varilla compactadora y el curado, y demás recomendaciones aplicables.

Tabla 19. Norma NTC 550

NORMA	NTC 550 (ASTM C 31)
DESCRIPCIÓN	Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra.
OBJETO	Esta norma establece los procedimientos para la elaboración y curado de especímenes cilíndricos de concreto.
USO Y SIGNIFICADO	Con esta norma se asegura que todo el proceso de elaboración se haga de manera óptima, llevando siempre un control de calidad para verificar la eficiencia del curado y sobre todo para alcanzar la resistencia de diseño.

Fuente: Los autores.

3.5 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Para poder hacer un reporte de resultados optimo se deben calibrar los equipos que van a hacer utilizados en la toma de medidas, hacer la correcta colocación de los cilindros al momento de fallarlos, se deben tomar tres medidas de diámetro y altura para sacar una media aritmética para el cálculo del área. Además, se siguen los pasos descritos en la Norma Técnica Colombiana 673. Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto (ver tabla 20), en la cual establecen el equipo requerido y las variables que pueden afectar dichos valores.

Tabla 20 Norma NTC 673

NORMA	NTC 673 (ASTM C 39)
DESCRIPCIÓN	Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra.
OBJETO	Esta norma establece los procedimientos para la elaboración y curado de especímenes cilíndricos y prismáticos, tomados de muestras representativas de concreto fresco para construcción.
USO Y SIGNIFICADO	Se debe tener especial cuidado con la interpretación de resultados de la resistencia a la compresión porque los valores dependen del tamaño y forma del espécimen, dosificación, los procedimientos de mezclado, edad y condiciones de humedad del curado.

Fuente: Los autores.

4. RESULTADOS

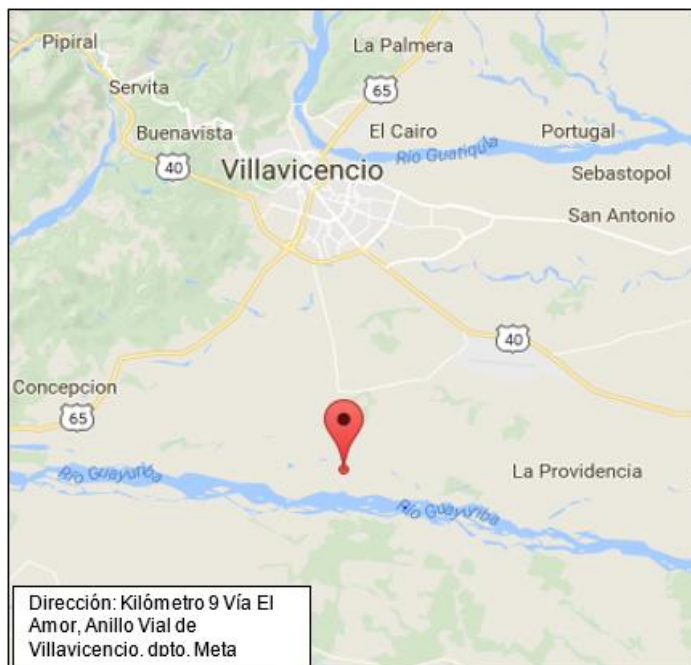
4.1 ZONAS PARA LA EXTRACCIÓN DE MATERIAL

La caracterización física de las múltiples zonas en Colombia es dada debido al grado de complejidad y diversidad, resultado de una larga historia geológica, bioclimática y geomorfológica en la que han interactuado diversos procesos y agentes tanto internos terrestres como externos que han dado como resultado el actual relieve que hoy se aprecia (Ministerio de ambiente). Sin embargo, se cuenta con una ubicación sobre el globo terrestre en la que medio país yace bajo mares tropicales y ecuatoriales y el otro medio es continente, además hay una formación de rocas antiquísimas, el Escudo precámbrico de la región oriental del país y en parte por rocas jóvenes, la cordillera de los Andes. Como resultado se tiene una variada y compleja geología con muchos recursos minerales, más que abundante agua y numerosas fuentes de energía (solar, nuclear, geotérmica, fósil, hídrica y vegetal) (Lobo,1987).

4.1.1 Cantera Guayuriba.

La cantera cuenta con un permiso para la explotación, procesamiento y comercialización de agregados pétreos desde Enero de 2015 hasta Enero de 2030, es decir por un periodo de 15 años, con una estimación de material a extraer de aproximadamente $7.000.000 m^3$ (ver ilustración 6).

Ilustración 6. Ubicación de la cantera Guayuriba



Fuente. Google Maps

El proceso de la planta de producción cuenta con tres procesos:

1. Extracción y acopio del material proveniente del Rio Guayuriba:

Para realizar el procedimiento se deben tener en cuenta las condiciones del rio para no poner en riesgo la vida de los operarios, también porque después de las crecientes es la mejor época para la extracción por que el rio trae diversidad de material (ver ilustración 7), generalmente este proceso se hace dos o tres veces al año por lo cual se requiere de maquinaria pesada para recolectar la mayor cantidad posible de material para abastecer la planta mientras pasa la época de sequía.

Ilustración 7. Extracción del material



Fuente. Los autores

2. Tamizado

El material pasa a una segunda etapa, por medio de unas zarandas se tamiza el material retirándole residuos que arrastra el rio (ver ilustración 8), ya que estos perjudican el proceso en la planta y también se separan los cantos de gran tamaño, ya que estos reciben otro tratamiento.

Ilustración 8. Acopio del material



Fuente. Los autores

3. Trituración y distribución por tamaños

Una vez separada la materia orgánica, se lleva el material a la máquina de trituración para sacar hacer la distribución de los tamaños y según los requerimientos de los pedidos que se necesitan; dicha distribución se hace por medio de bandas elásticas que van acumulando el material (ver ilustración 9), en puntos estratégicos se hacen unas personas para asegurar que no se vayan palos u otros materiales que perjudiquen las características de los agregados.

Ilustración 9. Distribución en la planta Guayuriba

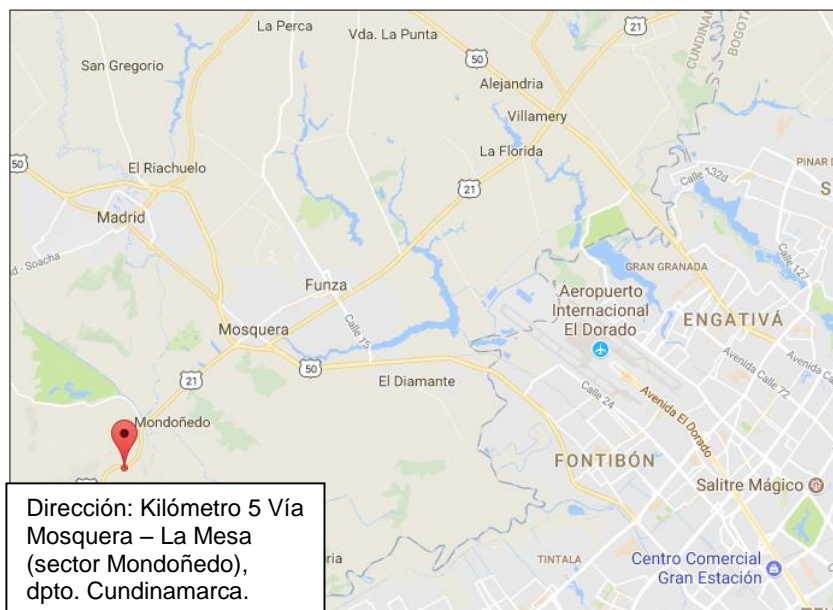


Fuente. Los autores

La litología del municipio de Villavicencio revela que las formaciones que afloran aquí varían desde el Paleozoico hasta el cuaternario, con rocas Precámbricas a Jurásicas, rocas Cretáceas, rocas Terciarias y depósitos cuaternarios (Instituto Geofísico Universidad Javeriana, 2000).

4.1.2 Cantera Loma pelada. Por otra parte, el municipio de Mosquera se encuentra compuesto por una zona montañosa con un relieve formado por cerros en el grupo Guadalupe y una zona marginal – lacustre, además las explotaciones para materiales de construcción han excavado varios cortes que permiten obtener información, pero no son lo suficientemente profundos como para alcanzar la base del cuaternario. Cuenta con formaciones geológicas, pre-Pliocenos, arenisca dura, Plaeners, areniscas de labor, areniscas, Tilatá y deposiciones Fluvio – Lacustres (Esap, 2000).

Ilustración 10. Ubicación cantera Loma Pelada - Mosquera.



Fuente: Google Maps.

Tiene una fecha de ejecución desde enero de 2004 hasta junio de 2030, la entidad contratante es Inversiones Mondoñedo LTDA y el contratista es la empresa REX INGENIERÍA S.A. con un total a ejecutar de 20.000.000 m³, que incluyen la explotación, procesamiento y comercialización de agregados pétreos, extraídos de zonas montañosas y que para el caso del presente proyecto son caracterizados como agregados de peña, la extracción se realiza por medio de maquinaria pesada (ver ilustración 11).

Ilustración 11. Extracción del material - Cantera Loma Pelada.



Fuente: INGENIERÍA REX S.A.

En la planta se cuenta con dos equipos gradadores y trituradores de tamaños para hacer la distribución y cuentan con 4 secciones de bandas (ver ilustración 12), por último, las maquinas se encargan de hacer los montículos.

Ilustración 12. Planta de agregados Loma pelada



Fuente. Los autores

4.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Para llevar a cabo la caracterización del agregado grueso, se procedió a la realización de prácticas de laboratorio en las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia y tomando como referencia de las Normas Técnicas Colombianas. Para ilustrar lo anterior se dan a conocer los resultados obtenidos por medio de cálculos aritméticos, los procedimientos se encuentran en su totalidad en los anexos del presente trabajo de investigación (Ver anexos).

4.2.1 Agregado grueso.

En contexto de trabajabilidad para el agregado grueso de Mosquera, se evidenció que hay mucho mayor desprendimiento de arenas en comparación con el extraído de Villavicencio, esto se evidenció en las lonas de almacenamiento. Además, tiene tonos más opacos, pero posee similitud en las características de forma porque ambos son resultado de roca triturada (ver ilustración 13), sin embargo, poseen diferencias en sus caras debido a la variedad geológica en sus depósitos de extracción (para procedimientos ver anexos 1 y 2).

Ilustración 13. Muestras del agregado grueso de Villavicencio y Mosquera



Fuente. Los autores.

4.2.1.1 Contenido de Humedad (NTC 1776).

Ilustración 14. Agregado grueso Villavicencio - Mosquera.



Fuente: Los autores.

Tabla 21. Contenido de humedad

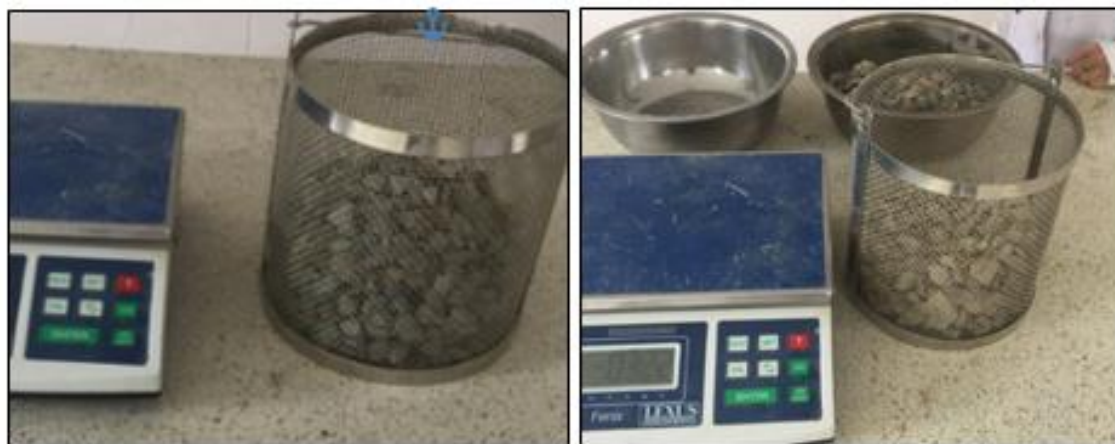
Contenido de Humedad W (%)	Muestra Villavicencio	Muestra Mosquera
	0,096	0,841

Fuente. Autores

Se establece que, de acuerdo a la diferencia de origen del agregado grueso, el proveniente de Villavicencio tuvo menor contenido de humedad al de Mosquera, esto se relaciona a que el primero tuvo menor porcentaje de absorción que el de Mosquera, es decir, menos cantidad de vacíos; sin embargo, también se evidenciaron niveles de humedad natural de menos del 1%, debido a que se realizó la extracción del mismo en temporadas climáticas con temperaturas elevadas.

4.2.1.2 Densidad y absorción del agregado grueso (NTC176).

Ilustración 15. Preparación de muestras para el ensayo, agregado grueso Villavicencio y Mosquera.



Fuente: Los autores.

De acuerdo con la información brindada por la revista ASOCRETO sobre la densidad, se tiene que el rango en el que se debe encontrar una roca madre es (2,48 y 2,80 gr/cm³) (Asocreto, s.f.), por lo cual haciendo la respectiva comparación se identifica que la grava extraída de Villavicencio tiene una densidad Bulk de 2,64gr/cm³ (ver tabla 22), es decir está dentro del rango, lo que significa que tiene propiedades óptimas similares a las de su roca de origen. Mientras que el agregado de Mosquera no se encuentra dentro de la clasificación porque su densidad es 2,29 gr/cm³ (ver tabla 23), por lo cual sus propiedades no son óptimas.

Tabla 22. Densidad y absorción agregado grueso Villavicencio.

Agregado grueso Villavicencio	Resultados
Después de las 24 horas de inmersión	$P_{SSS} = 3,016 \text{ kg}$
Peso en el agua	$P_w = 1,886 \text{ kg}$
Peso de la muestra seca al horno	$P_s = 2,994 \text{ kg}$
Densidad Aparente (Bulk)	$D_{BULK} = 2,642 \text{ kg/cm}^3$
Densidad Aparente (Saturada y superficialmente seca)	$D_s = 2,662 \text{ kg/cm}^3$
Densidad Nominal	$D_{Snominal} = 2,695 \text{ kg/cm}^3$
Absorción	$A = 0,737\%$

Fuente: Los autores.

El agregado grueso de Mosquera presenta resultados de masa unitaria menores que el de Villavicencio (ver tabla 22), cercanos a los rangos de la clasificación normal, pero no alcanza a ser exacto conforme a los parámetros, se decide establecerlo dentro de $(480-1040 \text{ kg/m}^3)$, es decir, como un agregado grueso ligero, cumpliendo de esta manera con características de uso para rellenos y mampostería. Para ilustrar mejor los valores prácticos, se dan a conocer los resultados de acuerdo a los ensayos de las especificaciones encontradas en la Norma Técnica Colombiana.

Tabla 23. Densidad y absorción agregado grueso Mosquera.

Agregado grueso Mosquera	Resultados
Después de las 24 horas de inmersión	$P_{SSS} = 3,063 \text{ kg}$
Peso en el agua	$P_w = 1,784 \text{ kg}$
Peso de la muestra seca al horno	$P_s = 2,939 \text{ kg}$
Densidad Aparente (Bulk)	$D_{BULK} = 2,292 \text{ kg/cm}^3$
Densidad Aparente (Saturada y superficialmente seca)	$D_s = 2,388 \text{ kg/cm}^3$
Densidad Nominal	$D_{Snominal} = 2,538 \text{ kg/cm}^3$
Absorción	$A = 4,224\%$

Fuente: Los autores.

4.2.1.3 Masa Unitaria y Vacíos entre las partículas de los agregados (NTC 92).

Ilustración 16. Método de apisonamiento para agregado grueso de Villavicencio y Mosquera.



Fuente: Los autores.

- Procedimiento para Masa Unitaria

Tabla 24. Resultados masa unitaria para agregado grueso Villavicencio.

Agregado Grueso Villavicencio: Masa Unitaria			
Apisonamiento		Paleo	
Pprom	10,582 kg	Pprom	9,991 kg
Método A	$M=1358,403 \text{ kg/m}^3$	Método A	$M=1282,499 \text{ kg/m}^3$
Método B	$M= 10,581 \text{ kg/m}^3$	Método B	$M= 9,991 \text{ kg/m}^3$

Fuente: Los autores.

Tabla 25. Resultados masa unitaria para agregado grueso Mosquera.

Agregado Grueso Mosquera: Masa Unitaria			
Apisonamiento		Paleo	
Pprom	9,447 kg	Pprom	8,742 kg
Método A	$M=1212,666 \text{ kg/m}^3$	Método A	$M=1258,613 \text{ kg/m}^3$
Método B	$M= 9,447 \text{ kg/m}^3$	Método B	$M= 8,742 \text{ kg/m}^3$

Fuente: Los autores.

Para la relación que se tiene con la masa unitaria, el agregado grueso de Mosquera presentó resultados menores que el de Villavicencio en los métodos A y B para paleo y apisonamiento (ver tabla 24 y 25), por ejemplo el valor del método A para apisonamiento, con magnitud de 1212 kg/m^3 cercano al rango de clasificación normal, pero no alcanzó a ser exacto conforme a los parámetros teóricos (ver tabla 13), por lo cual se decidió establecerlo dentro de ($480\text{-}1040 \text{ kg/m}^3$), es decir, como un agregado grueso ligero, cumpliendo de esta manera con características de uso para rellenos y mampostería, en cambio el agregado grueso extraído de Villavicencio tuvo una magnitud de 1.358 kg/m^3 , lo cual permite clasificarlo dentro de los rangos ($1300 \text{ y } 1600 \text{ kg/m}^3$) con un uso ideal de concreto estructural y no estructural.

- **Procedimiento para Masa Unitaria Superficialmente seca (SSS)**

Tabla 26. Masa unitaria SSS - Agregado grueso Villavicencio.

Agregado Grueso Villavicencio: Masa Unitaria (SSS)			
Apisonamiento		Paleo	
Método A	$M_{sss}=1368,419 \text{ kg/m}^3$	Método A	$M_{sss}=1291,951 \text{ kg/m}^3$
Método B	$M_{sss}= 10,659 \text{ kg/m}^3$	Método B	$M_{sss}= 10,064 \text{ kg/m}^3$

Fuente: Los autores.

Tabla 27. Masa unitaria SSS - Agregado grueso Mosquera.

Agregado Grueso Mosquera: Masa Unitaria (SSS)			
Apisonamiento		Paleo	
Método A	$M_{sss}=1263,889 \text{ kg/m}^3$	Método A	$M_{sss}=1311,777 \text{ kg/m}^3$
Método B	$M_{sss}= 9,846 \text{ kg/m}^3$	Método B	$M_{sss}= 9,111 \text{ kg/m}^3$

Fuente: Los autores.

El material extraído de Villavicencio y de Mosquera eran rocas trituradas, estas primeras presentan aparentemente más uniformidad, también más presencia de brillo que la grava de Mosquera, esto se debe a procesos de gradación y procesos de transporte en el río. Por lo anterior al analizar estos minerales por su masa unitaria superficialmente seca (ver tabla 26 y 27), se comprueba que aunque las rocas con mayor apariencia de estar secas son las de Villavicencio, son las de mayor masa unitaria por ejemplo para el método B de apisonamiento es $10,65 \text{ kg/m}^3$, esto se debe a la relación que se tiene con el porcentaje de vacíos que es

mayor al porcentaje de Mosquera y permite más absorción de agua en el ensayo (ver tabla 28 y 29), por lo cual el agregado grueso de Mosquera da a conocer una presencia de mayor humedad de las partículas, pero comprueba tener menos porcentaje de vacíos, por lo tanto menos masa unitaria que para el mismo ejemplo sería 9,84 kg/m³.

- **Procedimiento para el porcentaje (%) de Vacíos**

Tabla 28. Resultado porcentaje de vacíos - Agregado grueso Villavicencio.

Agregado Grueso Villavicencio: (% Vacíos)			
Apisonamiento		Paleo	
<i>Método A</i>	Vacíos = 48,481 %	<i>Método A</i>	Vacíos = 51,359 %
<i>Método B</i>	Vacíos = 99,599 %	<i>Método B</i>	Vacíos = 99,621 %

Fuente: Los autores.

Tabla 29. Resultado de porcentaje de vacíos - Agregado grueso Mosquera.

Agregado Grueso Mosquera: (% Vacíos)			
Apisonamiento		Paleo	
<i>Método A</i>	Vacíos = 46,985 %	<i>Método A</i>	Vacíos = 44,977 %
<i>Método B</i>	Vacíos = 99,587 %	<i>Método B</i>	Vacíos = 99,618 %

Fuente: Los autores.

De acuerdo a la anterior información (ver tabla 28 y 29), el agregado grueso de Villavicencio presenta caracterización de mayor porcentaje de que el de Mosquera, por ejemplo, para el Método A por paleo se cuenta con 51,35% para el material de río y 44,97% para la grava de peña, presentando de esta manera una ventaja para la mezcla cementante al ser adherida al mismo. Además, este primero demuestra que, durante su manipulación en el transporte desde Villavicencio hasta la zona de almacenamiento en Bogotá, da a conocer que dentro de las lonas no genera tanto desperdicio de polvillo en comparación con agregado grueso de Mosquera.

4.2.1.4 Granulometría NTC 77.

Tabla 30. Granulometría del agregado grueso de Mosquera

MOSQUERA				
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
1"	0	0	0	100
3/4"	464,57	9,2914	9,2914	90,7086
1/2"	1433,98	28,6796	37,971	62,029
3/8"	457,94	9,1588	47,1298	52,8702
#4	669,49	13,3898	60,5196	39,4804
#8	465,49	9,3098	69,8294	30,1706
#10	108,84	2,1768	72,0062	27,9938
#16	324,09	6,4818	78,488	21,512
#30	360,89	7,2178	85,7058	14,2942
#40	170,09	3,4018	89,1076	10,8924
#50	175,69	3,5138	92,6214	7,3786
#80	208,45	4,169	96,7904	3,2096
#100	32,35	0,647	97,4374	2,5626
#200	95,87	1,9174	99,3548	0,6452
Filler	32,26	0,6452	100	0

Fuente: Los autores

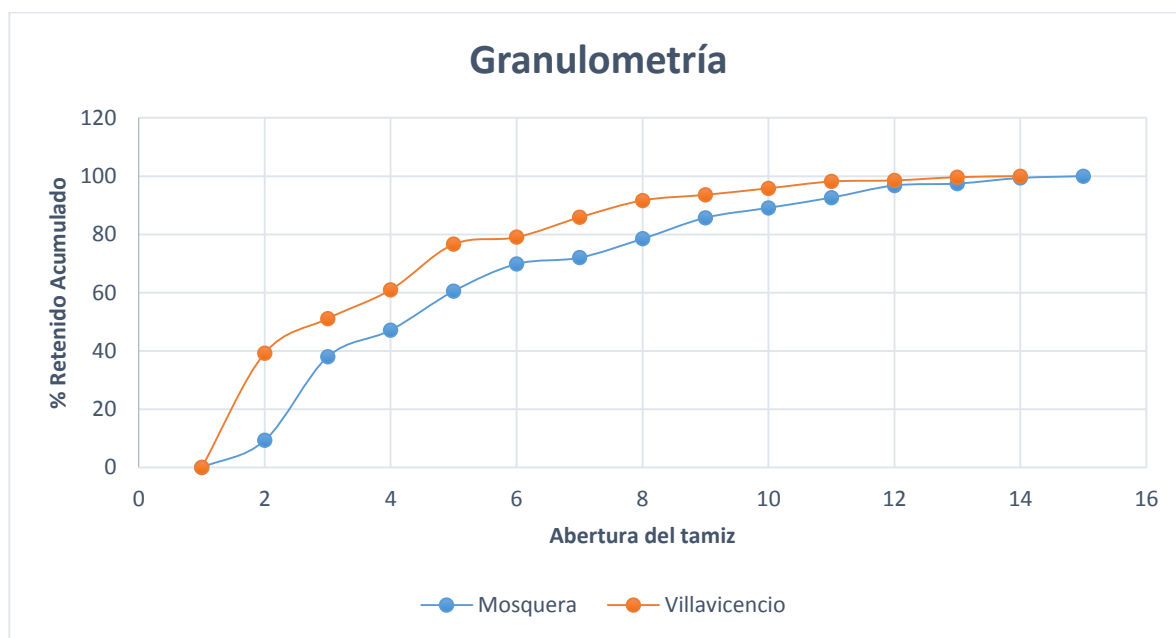
Tabla 31. Granulometría de Villavicencio

VILLAVICENCIO				
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
1"	0	0	0	100
3/4"	0	0	0	100
1/2"	980,14	39,2056	39,2056	60,7944
3/8"	297,38	11,8952	51,1008	48,8992
#4	246,86	9,8744	60,9752	39,0248
#8	391,05	15,642	76,6172	23,3828
#10	60,15	2,406	79,0232	20,9768
#16	170,43	6,8172	85,8404	14,1596
#30	145,29	5,8116	91,652	8,348
#40	48,01	1,9204	93,5724	6,4276
#50	56,17	2,2468	95,8192	4,1808
#80	58,05	2,322	98,1412	1,8588
#100	9,36	0,3744	98,5156	1,4844
#200	28,04	1,1216	99,6372	0,3628
Filler	9,07	0,3628	100	0

Fuente: Los autores

Con respecto a la granulometría presente en estos dos, se data que hubo mayor gradación con un comportamiento más proporcional (ver ilustración 17) en el agregado grueso extraído de Villavicencio, generando de esta manera mejor proporciones para llenar incluso pequeños vacíos dentro de la mezcla de concreto, para el caso de la grava extraída de Mosquera, se tuvo que tiene un poco más de dispersión en los datos de gradación en la granulometría con tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ ", a diferencia del primero con $\frac{1}{2}$ " (ver tabla 30 y 31).

Ilustración 17. Curva de granulometría



Fuente: Los autores

4.2.2 Agregado fino.

Se tiene en cuenta que para la presente investigación es de gran importancia reconocer las propiedades de los otros agregados que componen la mezcla de concreto, para este caso se realiza una identificación de la arena de río que es igual para las dos mezclas de concreto, tanto para la que contiene la grava proveniente de Villavicencio, así como la de Mosquera (Para procedimientos ver anexo 3).

4.2.2.1 Contenido de Humedad (NTC 1776).

- Muestra Arena de Río

$$W=8,668\%$$

A diferencia del agregado grueso que en promedio no supero el 1,0% de contenido de humedad, se tiene que la arena estaba más húmeda que este, y se relaciona a temas climáticos y manipulación en su transporte, ya que la arena es adquirida de un punto comercial en la ciudad de Bogotá.

4.2.2.2 Densidad y absorción del agregado fino (NTC 237).

El agregado fino presenta una densidad aparente Bulk de 2,566 g/cm³ (ver tabla 32), lo cual es mayor en comparación a la media del agregado grueso con magnitud de 2,467 g/cm³, lo anterior debido a que las partículas de agregado fino al ser compactadas en un centímetro cúbico tienen menores vacíos (ver ilustración 18) que las del agregado grueso, de ahí la relación y uso del agregado fino con utilidad para llenar estos vacíos en la mezcla del concreto.

Tabla 32. Densidad para agregado fino

Agregado Fino: Densidades	
Calibración de aparato	$C = 1132,84gr$
Densidad aparente (Bulk)	$D_{sAparente} = 2,566gr/cm^3$
Densidad aparente SSS	$D_{sAparente (base sss)} = 2,595gr/cm^3$
Densidad nominal	$D_{sNominal} = 2,644g/cm^3$
Absorción	$Absorción = 1,142\%$

Fuente: Los Autores

Ilustración 18. Cono de arena y picnómetro



Fuente. Los autores

4.2.2.2 Análisis por tamizado (NTC 77).

El análisis granulométrico respectivo para el agregado escogido para la mezcla de concreto corresponde a la granulometría conjunta de la arena con cada uno de los agregados gruesos extraídos de los dos distintos puntos de origen (ver numeral 4.2.1.4 Granulometría NTC 77).

Tabla 33. Módulo de finura Mosquera

Módulo De Finura Mosquera				
Tamiz	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3/4"	464,57	9,2914	9,2914	90,7086
3/8"	457,94	9,1588	47,1298	52,8702
#4	669,49	13,3898	60,5196	39,4804
#8	465,49	9,3098	69,8294	30,1706
#16	324,09	6,4818	78,488	21,512
#30	360,89	7,2178	85,7058	14,2942
#50	175,69	3,5138	92,6214	7,3786
#100	32,35	0,647	97,4374	2,5626

Fuente: Los autores

Para la realización del diseño de la mezcla de concreto que se utilizó en la presente investigación se requirió el módulo de finura de una de las dos granulometrías, por ello de forma aleatoria se elige la que corresponde al relacionado con el agregado grueso extraído de Villavicencio (ver tabla 34), el cuál cumple con los rangos establecidos con la tabla 19 necesaria para el cálculo de las dosificaciones.

Tabla 34. Módulo de finura Villavicencio

Módulo De Finura Villavicencio				
Tamiz	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3/4"	0	0	0	100
3/8"	297,38	11,8952	51,1008	48,8992
#4	246,86	9,8744	60,9752	39,0248
#8	391,05	15,642	76,6172	23,3828
#16	170,43	6,8172	85,8404	14,1596
#30	145,29	5,8116	91,652	8,348
#50	56,17	2,2468	95,8192	4,1808
#100	9,36	0,3744	98,5156	1,4844

Fuente: Los autores

- Módulo de finura

$$\text{Módulo}=2,39$$

4.2.3 Cemento.

Para la realización de la mezcla de concreto se hace una elección de cemento comercial CEMEX, por ser uno de los más reconocidos y comúnmente utilizado en muchas construcciones de proyectos medianos, para ello también se hace un reconocimiento de ciertas generalidades que permiten obtener con exactitud magnitudes requeridas en el momento de hacer el diseño de la mezcla (para procedimientos ver anexo 4).

4.2.3.1 Densidad del Cemento Hidráulico (NTC 221).

$$\text{Densidad} = 2,977 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

La densidad determinada en el laboratorio de la Universidad Católica de Colombia cumple con un porcentaje de error de 0,73%, tomando como valor experimental la media 2,976 kg/m³ de un estudio de investigación comparativo de las características físico-mecánicas de cuatro cementos portland tipo I (Cortes y Perilla, 2014) , en el

cuál se realizan 10 repeticiones del cemento CEMEX. Lo anterior indica que la magnitud determinada es adecuada para la realización del diseño de la mezcla de concreto simple, pues teóricamente no alcanza el 1,0% de error con el valor ideal.

4.2.3.2 Tiempos de Fraguado (NTC 118). Para la consistencia normal determinada en el ensayo establecido por la norma NTC 110, se realiza el ensayo de tiempos de fraguado, en donde se establece que, para el caso del cemento comercial elegido, se tomó un total de 2 horas 15 minutos para penetrar 26mm la aguja en el aparato de Vicat (ver tabla 35); finalizando con un tiempo de fraguado de 4 horas y una penetración de 0mm en el mismo.

Tabla 35. Tiempos de fraguado

Tiempo (s)	Penetración (mm)
11:30	41,00
11:45	40,00
12:00	40,00
12:15	39,00
12:30	38,00
12:45	36,00
01:00	33,00
01:15	31,00
01:30	28,00
<u>01:45</u>	<u>26,00</u>
02:00	23,00
02:15	20,00
02:30	16,00
02:45	12,00
03:00	08,00
03:15	04,00
03:30	00,00

Fuente. Los autores

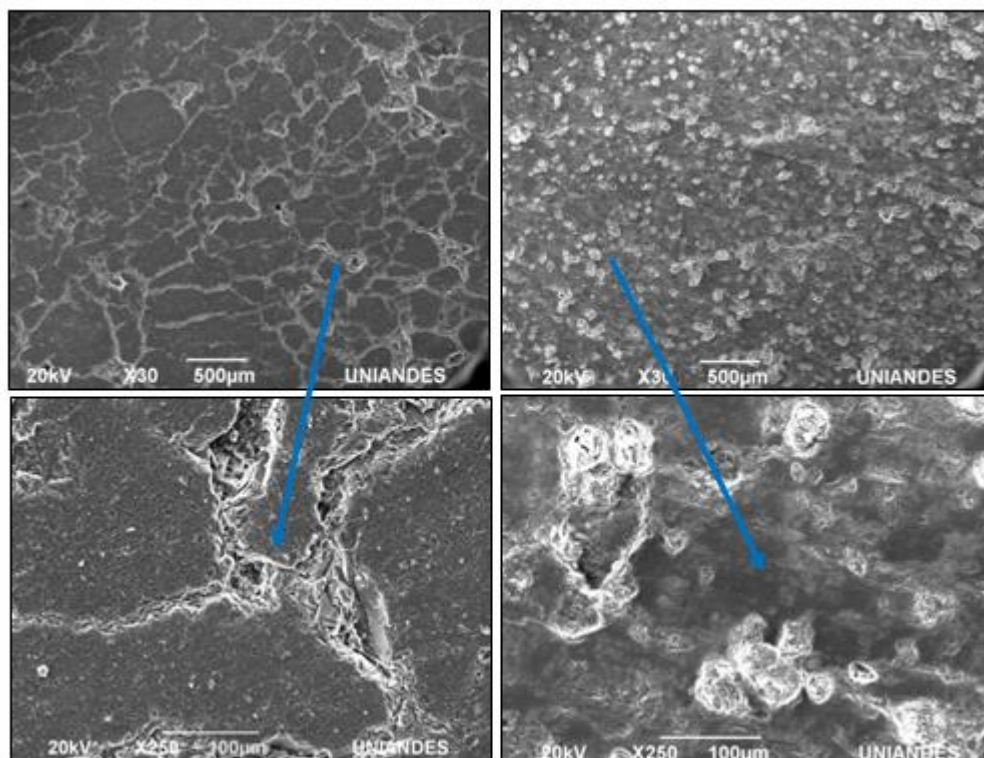
3.2.3.3 Consistencia normal (NTC 110). Se determina que para una muestra de 650gr de cemento CEMEX, hay una consistencia normal con una cantidad de agua de 195ml.

4.3 ENSAYO SEM

Para la realización de la microscopía de barrido se realiza la preparación de muestras (pulir, limpiar y secar) del agregado grueso de Villavicencio, de una partícula de concreto con agregado grueso de Villavicencio y las mismas referencias para el agregado grueso de Mosquera, con el fin de someterlas al ensayo de microscopía electrónica de barrido en las instalaciones de la Universidad de los Andes; para lo cual se obtienen las siguientes manifestaciones microscópicas (para el procedimiento ver anexo 6).

4.3.1 Agregado grueso. El agregado grueso de Villavicencio muestra en la ilustración 19 una distribución en forma de colmena, con aberturas porosas y profundas, con tendencia lineal e interconectadas, por el contrario, el agregado grueso de Mosquera evidencia una distribución dispersa con círculos uniformes e independientes, además son más superficiales.

Ilustración 19. Imágenes de alta resolución de las superficies de las muestras Villavicencio y Mosquera con magnificación a X30 y X250.

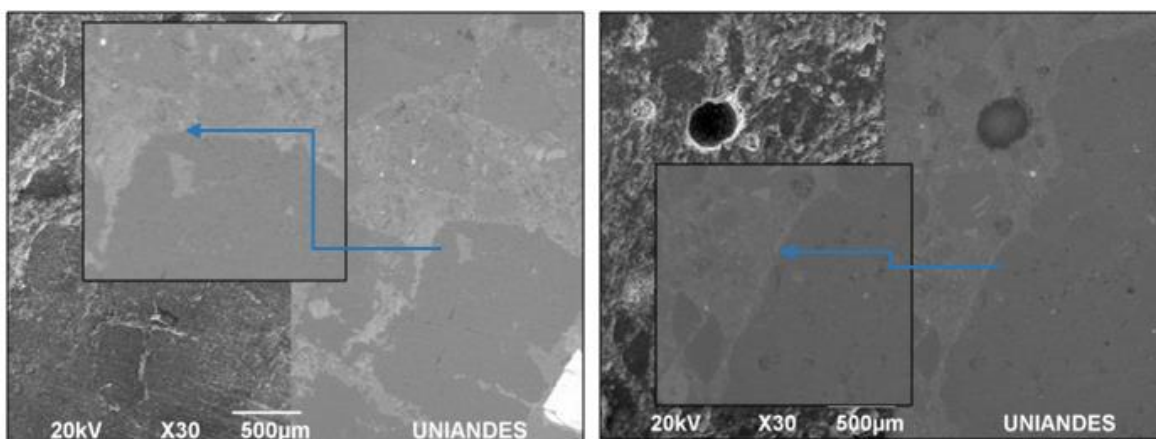


Fuente: Universidad de los Andes.

Haciendo uso del software image j, se determina la porosidad del agregado cuantitativamente, obteniendo que la grava de Villavicencio tiene aberturas de aproximadamente 45 micrómetros, y la de Mosquera de 110 micrómetros, lo cual demuestra que existe una mayor concentración de poros en el agregado grueso de Mosquera.

4.3.2 Concreto. En la primera imagen de las ilustración 20 se da a conocer el concreto con agregado grueso de Villavicencio y en la segunda el concreto con agregado grueso de Mosquera, en esta última se observa que existe una franja de un color distinto al material cementante que se encuentra a la izquierda y al agregado grueso ubicado en la parte derecha, la cual indica que estos elementos de la mezcla no tienen una buena adherencia entre sí, a diferencia del comportamiento del concreto con agregado de Villavicencio.

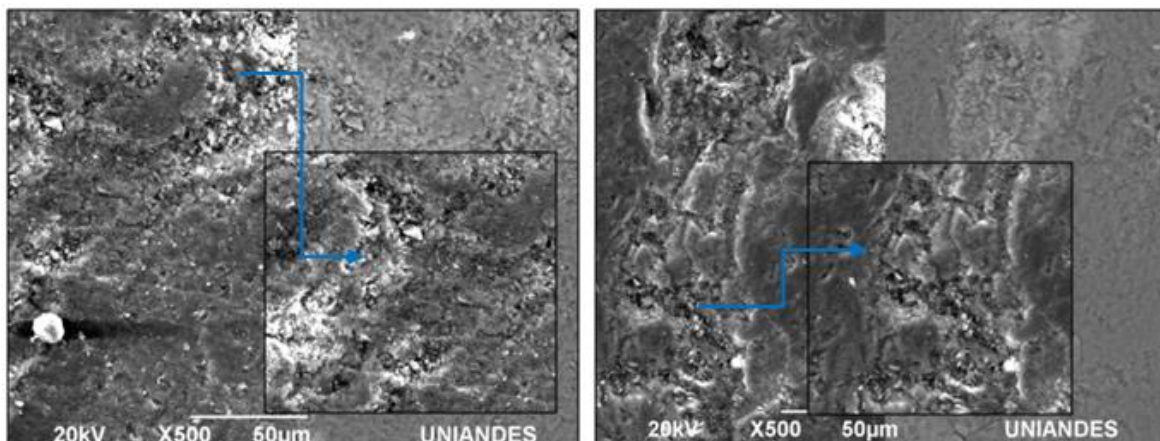
Ilustración 20. Concreto con grava de Villavicencio - Con grava de Mosquera (Magnificación X30).



Fuente: Universidad de los Andes.

La ilustración 21 que se muestra a continuación permite identificar la microestructura que componen las mezclas de concreto en estado sólido, detectando de esta manera microfisuras asociadas al proceso interno que sufre el concreto cuando se contrae en el tiempo de fraguado, sin embargo se evidencia que el concreto con agregado grueso de Villavicencio no es tan alterado a comparación que el de agregado grueso de Mosquera, pues el de Mosquera que es el que se encuentra en la parte derecha se ve más afectado por la microfisuración.

Ilustración 21. Magnificación a X500 de Concreto con agregado: Villavicencio - Mosquera.



Fuente: Universidad de los Andes.

4.4 DISEÑO DE MEZCLA

Para diseñar una mezcla de concreto se requiere conocer las características físicas de los materiales a emplear en su elaboración

Tabla 36. Datos necesarios para el diseño.

DATOS REQUERIDOS	
Densidad del cemento	$2,977 \text{ g/m}^3$
Módulo de finura de la arena	2,397
Densidad de la arena	$2,644 \text{ g/m}^3$
Absorción de la arena	1,142%
Humedad de la arena	8,668%
Densidad de la grava	$2,695 \text{ g/m}^3$
Tamaño máximo de la grava	3/4"
Absorción de la grava	0,737%
Humedad de la grava	0,096%

Fuente. Los autores.

Se realiza el diseño de la mezcla para un concreto de 3000 psi, que pueda ser empleado en estructuras comunes y edificios, sin refuerzo.

4.4.1 Relación A/C

Para determinar la relación agua- cemento de la mezcla, se hace un promedio aritmético con cuatro valores tomados de las curvas que relacionan la resistencia de diseño y la relación de Agua – Cemento (ver ilustración 5), que contemplan mezclas hechas en el terreno y en el laboratorio; de ahí se toman los dos primeros valores (0,72 - 0,79).

En la tabla 15 se encuentra la relación A/C según el tipo de construcción y para el caso en particular se vinculó con las estructuras comunes, edificios y porciones de puentes no incluidos en 1 o 2 y usando las secciones medias sin refuerzo, se toma el siguiente valor (0,67).

En la tabla 16. Se encuentra la resistencia a la compresión según la relación A/C, con el valor probable de la resistencia a los 28 días en Lb / pulg², que es de 3000 se hace la respectiva interpolación debido a que el valor no aparece en la tabla y de ahí se toma el ultimo valor (0,64) y por último se hace el promedio aritmético siguiendo el siguiente procedimiento.

$$\text{Relación } \frac{A}{C} = \frac{C_{MHT} + C_{MHL} + T_{STC} + T_{SRD}}{4}$$

Donde:

- C_{MHT} : Curva de la mezcla hecha en el terreno.
- C_{MHL} : Curva de la mezcla hecha en el laboratorio.
- T_{STC} : Tabla según el tipo de construcción.
- T_{SRD} : Tabla según la resistencia de diseño.

$$\text{Relación } \frac{A}{C} = \frac{0,72 + 0,79 + 0,67 + 0,64}{4}$$

$$\text{Relación } \frac{A}{C} = 0,70$$

En la tabla 19 de valores aproximados del porcentaje de agregado fino y la cantidad de agua por m³ de concreto, se hace la respectiva relación con el valor del módulo de finura (2,39) y el tamaño máximo del agregado grueso (3/4), y teniendo en cuenta si el agregado grueso es redondeado o anguloso se toma el valor de la cantidad de agua sugerida y el porcentaje de agregado fino sobre el agregado total del volumen absoluto de la mezcla.

$$\text{Cantidad de agua} = 198 \text{ litros y Porcentaje de agregado fino} = 46\%$$

4.4.2 Proporciones para 1 metro cubico (1000 litros).

4.4.2.1 Cantidad de cemento

$$\frac{\text{Cantidad de agua}}{\text{Relación de } \frac{A}{C}} = \frac{198 \text{ kg/m}^3}{0,70} = 282,86 \text{ kg/m}^3 \text{ de Cemento}$$

$$\frac{\text{Cantidad de cemento}}{\text{Peso específico del cemento}} = \frac{1019,73 \text{ kg/m}^3}{2,9 \text{ kg/m}^3} = 351,63 \text{ kg de cemento}$$

Cantidad de agregados

$$1000 \text{ litros} = (198 \text{ litros H}_2\text{O} + 97,54 \text{ litros cemento} + X \text{ agregados})$$

$$\text{Agregados} = 819,78 \text{ litros} = 0,81978 \text{ m}^3$$

4.4.2.2 Cantidad de agregado fino

$$\text{Arena} = 46\% * 819,78 \text{ litros} = 377,10 \text{ litros} = 0,37710 \text{ m}^3$$

$$\text{Arena} = 377,10 \text{ litros} * 2,6 = 980,30 \text{ kg}$$

4.4.2.3 Cantidad de agregado grueso

$$\% \text{ Grava} = 54\% * 704,46 \text{ litros} = 477,21 \text{ litros} = 0,47721 \text{ m}^3$$

$$\text{Grava} = 477,21 \text{ litros} * 2,66 = 1.269,39 \text{ kg}$$

4.4.3 Proporciones para los cilindros

El volumen de mezcla para cada cilindro es de $0,0053 \text{ m}^3$, es decir para los cuarenta que se requieren el volumen necesario es de $0,2332 \text{ m}^3$, teniendo esto en cuenta se calculan las proporciones a partir de las calculadas para 1 m^3 .

4.4.3.1 Cantidad de cemento

$$\frac{0,2332 \text{ m}^3 * 351,63 \text{ kg de cemento}}{1 \text{ m}^3} = 82 \text{ kg de Cemento}$$

4.4.2.2 Cantidad de agregado fino

$$\text{Arena} = \frac{0,2332 \text{ m}^3 * 980,30 \text{ kg arena}}{1 \text{ m}^3} = 228,37 \text{ kg}$$

4.4.2.3 Cantidad de agregado grueso

$$Grava = \frac{0,2332 \text{ m}^3 * 1.269,39 \text{ kg de cemento}}{1 \text{ m}^3} = 296 \text{ kg}$$

4.5 ELABORACIÓN DE LOS CILINDROS

Primero se agrega todo el material grueso, luego el agregado fino y por último el cemento, se mezclan bien hasta ver que no hay excesos de ningún material en todo el recipiente y se adiciona agua, todas las cantidades de acuerdo a las proporciones encontradas, tal como se muestra en la ilustración 22.

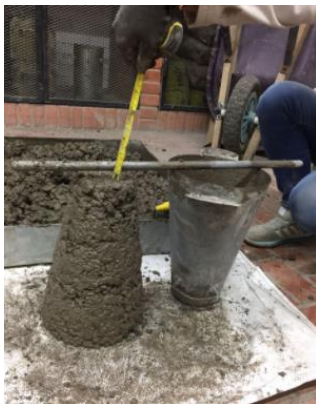
Ilustración 22. Mezcla de todos los materiales para el concreto



Fuente. Los autores

Para verificar el asentamiento se hace por el método del cono de Abrahams, hasta que la pasta alcance un asentamiento de 3cm, para lo cual se va adicionando agua y repitiendo el ensayo hasta obtener el valor requerido, como se ilustra en la imagen.

Ilustración 23. Ensayo de asentamiento



Fuente. Los autores

Una vez alcanzado el asentamiento se funden los cilindros, para completar el proceso de los primeros 20 cilindros se realizó en cuatro fundidas (ver ilustración 24), cada una con las mismas especificaciones de la primera para no alterar características iniciales. Luego se dejan 24 horas en un lugar limpio y seco, para posteriormente hacer el desencofrado.

Ilustración 24. Cilindros en las camisas



Fuente. Los autores

Después del desencofrado, los cilindros se enumeran para saber en qué orden fallarlos, posteriormente se pesan y se ponen en inmersión en el tanque de curado (ver ilustración 25), se sumergen totalmente hasta que alcancen la edad para ser fallados.

Ilustración 25. Cilindros en inmersión



Fuente. Los autores

4.6 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Tal como se indicó en la metodología, se realizan las fallas de 30 cilindros de concreto que corresponden 5 cilindros a los 7, 5 a los 14 y 5 a los 28 días, lo anterior para la mezcla de Villavicencio y Mosquera, a continuación, se dan a conocer los resultados de cada una de las resistencias obtenidas, así como las imágenes que en forma correspondiente evidencian el tipo de falla manifestada (para procedimientos ver anexo 5).

Ilustración 26 Concreto en estado sólido fraguado con grava de Villavicencio – Mosquera



Fuente Los autores

Con cada uno de los datos dados a conocer anteriormente, se realiza los cálculos de valores promedios para las resistencias del concreto, obtenidas así:

Tabla 37 Resistencias totales con grava de Villavicencio

Resistencias Totales Villavicencio					
Tiempo	Peso	Diámetro	Altura	Resistencia	Esfuerzo
(días)	(kg)	(mm)	(cm)	(kgf)	(Psi)
7,000	12,928	151,413	30,333	24800,000	1958,542
14,000	12,908	149,300	30,366	31300,000	2543,111
28,000	13,008	153,200	30,492	40380,000	3115,802

Fuente Los autores

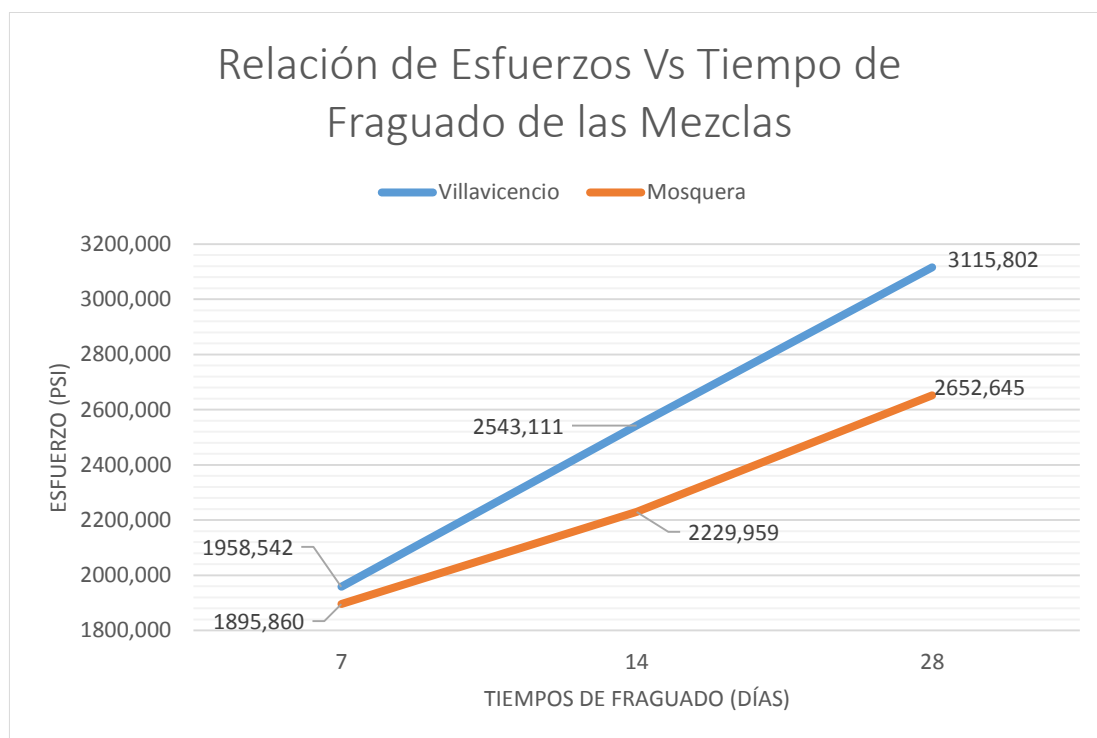
Tabla 38 Resistencias totales con grava de Mosquera

Resistencias Totales Mosquera					
Tiempo	Peso	Diámetro	Altura	Resistencia	Esfuerzo
(días)	(kg)	(mm)	(cm)	(kgf)	(Psi)
7,000	12,528	152,762	30,487	24400,000	1895,860
14,000	12,280	151,080	30,362	28100,000	2229,959
28,000	12,484	151,900	30,427	33800,000	2652,645

Fuente Los autores

Para identificar de una mejor manera estos resultados experimentales, se procede a realizar la gráfica de resistencia que a continuación se muestra, la cual podrá relacionar mejor las diferencias en términos de esfuerzo del concreto realizado con agregado grueso de Mosque y en el que se utilizó agregado grueso de Villavicencio.

Ilustración 27 Curva de comparación de resistencias de concretos a compresión



Fuente Los autores

5 CONCLUSIONES

La resistencia del concreto es afectada cuando se usan agregados gruesos de distinto origen, es decir que el uso de grava extraída de un depósito aluvial en el concreto contribuye a que soporte cargas superiores (3115 psi), a la del diseño inicial a diferencia del material de origen montañoso que demostró ser menos resistente con 2652 psi, es decir no cumplió con el diseño de la mezcla.

En términos de trabajabilidad la grava extraída de Mosquera resultó ser más frágil y susceptible en su manipulación en la mezcla del concreto en estado fresco, presentando constantes fracturas del agregado.

El estudio de Microscopia Electrónica de Barrido demuestra que en la mezcla que se utilizó el agregado grueso de Mosquera, no hay una adherencia total entre la pasta y la grava, en comparación a la otra mezcla.

Otra variable que incidió en la disminución de la resistencia de los cilindros elaborados con grava de Mosquera fue la porosidad presente en los agregados, debido a que en el análisis microscópico de las muestras se evidencia que la superficie del agregado grueso de Villavicencio presenta una distribución más uniforme y lineal de los poros, en cambio el de Mosquera muestra los poros más dispersos e independientes.

En la elaboración de los cilindros se comprobó que el agregado de Mosquera tiene mayor absorción que el de Villavicencio, cuando se realizó la prueba de asentamiento no cumplía con el requerimiento mínimo por falta de hidratación por lo cual se le agregaron 400 ml más de agua.

Una de las variables que también incidió en el aumento de la resistencia del concreto con grava proveniente de Villavicencio, es el aspecto físico de las partículas, es decir que el agregado es más redondeado incluso siendo triturado, pero sus caras planas son vítreas con superficies lisas debido a su gradación producida por su origen de río; en cambio el agregado grueso extraído de Mosquera es semi angular con superficies más opacas y visiblemente porosas.

El ensayo de tiempos de fraguado permitió analizar que el cemento para este caso comercialmente llamado CEMEX, actúa de una forma regular en su forma proceso de fraguado, estimando de esta manera que coincidió con los tiempos de fraguado en los cilindros de concreto permitiendo de esta manera el correcto curado en la piscina y el adecuado comportamiento al momento de fallarlos en la prensa.

El 65% de los cilindros fallados, es decir, 26 cilindros presentaron falla tipo 2 según la clasificación de la Norma Técnica Colombiana 673, lo que representa conos bien formados en un extremo con fisuras verticales a través de los cabezales, mientras

que el otro extremo no está bien definido. Siendo esta es la más común tanto para el concreto donde se utilizó agregado grueso extraído de Villavicencio como con el extraído de Mosquera; se establece que esto se debe a que se utilizó el mismo diseño de mezcla para las dos mezclas y las mismas condiciones en los demás agregados (agregado fino, cemento y agua) y en la forma de curado.

6 RECOMENDACIONES

Los ensayos de laboratorio para la caracterización de los agregados utilizados en la mezcla de concreto de la presente investigación son básicos, a excepción de la prueba de microscopia de barrido SEM para el agregado grueso y las muestras de concreto en estado sólido; sin embargo se hace la recomendación de indagar en estudios existentes con mayor profundidad en el estudio de la resistencia del concreto, con los cuales sea posible encontrar más variables que incidan en los cambios de la resistencia.

Se estima que uno de los factores por los cuales el agregado grueso de Villavicencio presenta mayores magnitudes de resistencia a la compresión dentro de una mezcla de concreto, es por su extracción del río y no de peña a diferencia del de Mosquera, sin embargo, se recomienda profundizar en futuros estudios acerca del tema en otras investigaciones con distintas canteras.

Una de las variables que puede modificar la resistencia a la compresión de los cilindros es la elección del tipo de arena que para este caso fue de río, el tipo de cemento CEMEX y el agua, por ello se recomienda para próximas investigaciones similares hacer uso de arena de peña, además de otro cemento comercial, y de esta manera poder confirmar que tanto influye estas variables dentro del diseño de la mezcla, que para el presente proyecto es la misma para los dos tipos de cilindros.

Para poder mejorar las propiedades que tiene el agregado grueso extraído de Mosquera dentro de su comportamiento en una mezcla de concreto simple como las expuestas en la parte práctica de la presente investigación, se recomienda hacer uso de los distintos aditivos comerciales existentes, ya que se estima que de esta manera sería más probable tener resultados de resistencia iguales o incluso más satisfactorios que los obtenidos con el agregado grueso extraído de Villavicencio.

BIBLIOGRAFÍA

AA.VV. Nueva Enciclopedia del Encargado de Obra. Materiales de Construcción, 2007. [en línea]. Comisión Asesora Permanente Para El Régimen De Construcciones Sismo Resistentes., 1997. Concreto estructural. A: Nsr-10. Grupo Editorial CEAC, S. A., Vol. Título C, núm. v. 2, p. 530-827. ISBN. 978-84-329-2619-8 Disponible en Internet: <URL:<https://books.google.com.co/books?id=RyjhO09ccsMC>>

AGUILAR, Camila; LEÓN, Nicolás y MELÉNDEZ ARJONA, Marcela. Centro de Investigación Económica y Social, Fedesarrollo. [en línea]. El sector de materiales de construcción. 2 ed. Bogotá-Cundinamarca, 2006. p. 350. ISBN 9583394785 [Consulta: 9 septiembre 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/1916>. 2006>

ALEJANDRE SÁNCHEZ, Francisco Javier. Historia, caracterización y restauración de morteros. [en línea]. Universidad de Sevilla. Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción. Espacio Virtual de Exposiciones. 3 ed. El porvenir. ISBN 84-472-0773-0 [Consulta: 20 de agosto 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://expobus.us.es/omeka/items/show/874>>

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Nsr-10 Título C — Concreto Estructural. [en línea]. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial De la Comisión Asesora Permanente Para El Régimen De Construcciones Sismo Resistentes (Creada Por La Ley 400 De 1997). [Consulta: 17 abril 2017]. Disponible en Internet: <URL:<https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/3titulo-c-nsr-100.pdf> >

BLÁSQUEZ BAÑÓN, Luis. Afirmados, Infraestructura, Trazado y Tráfico. [en línea]. Clasificación de los materiales pétreos. [Consulta: 8 de septiembre de 2017]. Disponible en Internet: <URL: https://sirio.ua.es/proyectos/manual_carreteras/02020201.pdf >

CAÑAS, José Simeón. Determinación del peso específico del cemento. Universidad Centro Americana, Departamento de Mecánica Estructural. [en línea] El Salvador, América Central. [Consulta: 7 de septiembre de 2017]. Disponible en Internet: <URL:http://www.uca.edu.sv/mecanicaestructural/materias/materialesConstruccion/guiasLab/ensayoCemento/DETERMINACION_DEL_PESO_ESPECIFICO_DEL_CEMENTO.pdf >

CARCAÑO, R. Solís; GRIFÉ, N. Zaragoza; FAJARDO, A. González. La administración de los materiales en la construcción. Ingeniería, 2009, vol. 13, no 3,

p. 61-71 [en línea]. Disponible en internet: <URL: <http://www.redalyc.org/pdf/467/46712187008.pdf>>.

CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO, 2013. Contenido de Humedad del Suelo. Guía útil para comparar las prácticas del manejo de cultivo. [en línea]. Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional. Vol. 53, núm. 9, p. 1689-1699. ISSN 1098-6596. DOI 10.1017/CBO9781107415324.004. [Consulta: 7 de septiembre de 2017]. Disponible en Internet: <URL:http://conservacion.cimmyt.org/es/component/docman/doc_view/1142-chs>

CHAN YAM, José Luis; RÓMEL SOLÍS, Carcaño y MORENO, Eric Iván. Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto, 2003. [en línea]. Artículo de Divulgación, Ingeniería. Vol. 7, núm. 2, p. 39-46. ISSN 1665-529X. [Consulta: 14 abril 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen7/influencia.pdf>>

CONCRETO. Serie de Conocimientos Básicos. Revista N°1. ASOCRETO. Instituto Colombiano de Productores de Cemento. Citado por: ROCHA, S. Practica 17: Densidad y absorción del agregado [en línea]. [Consulta: 26 octubre 2017]. Disponible en internet: <URL: <http://www.construaprende.com/docs/lab/335-practica-densidad-absorcion-agregados>>.

CORTES, Edwin. PERILLA, Jorge. Estudio comparativo de las características físico - mecánicas de cuatro cementos comerciales portland tipo I. Año 2014 [en línea]. Vol. XXXIII, núm. 2, p. 81-87. ISSN 0717-6163. DOI 10.1007/s13398-014-0173-7.2. [Consulta: 25 octubre 2017]. Disponible en internet: <URL: [http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11044/1/ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS CARACTERISTICAS FISICO MECANICAS DE CUATRO CEMENTOS COMERCIALES PORTLAND TIPO I.pdf](http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11044/1/ESTUDIO%20COMPARATIVO%20DE%20LAS%20CARACTERISTICAS%20FISICO%20MECANICAS%20DE%20CUATRO%20CEMENTOS%20COMERCIALES%20PORTLAND%20TIPO%20I.pdf)>.

CRUZ HERNANDEZ, Ricardo Alfredo; PICO CORTÉS, Carlos Mauricio y PÉREZ BUSTOS, Ludwig. Durabilidad y acústica del concreto con escoria de cubilote como reemplazo del agregado fino. Investigación de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. L., 2015. Tecnura. A: Tecnura. Vol. 19, p. 37-51. URL:<http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.1.a02>

ESAP 2000. Mosquera-Cundinamarca, geología estructural [en línea]. [Consulta: 7 setiembre 2017], p 31. Disponible en internet: <URL: [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos PDF/pot – mosquera - cundinamarca – 2000 – índice ->. \(211 pág – 598 kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pot%20-%20mosquera%20-%20cundinamarca%20-%202000%20-%20indice-%20->.pdf)>.

FERGUSON, Phil Moss. Teoria elemental del concreto reforzado: teoria plastica, teoria elastica. Compañía editorial Continental, 1961, 618 paginas [en línea]. Disponible en internet: <URL: <https://books.google.com.co/books?id=CkMuAwEACAAJ>>.

GIRALDO BOLÍVAR, Giraldo. Dosificación de mezclas de hormigón, Medellín 2006, 58 paginas [en línea]. [Consulta: 8 setembre 2017]. Disponible en internet: <URL: <http://www.unalmed.edu.co/~ogiraldo/archivos/laboratorio/mezclas04b.pdf>>.

GIRALDO BOLÍVAR, Giraldo. Guía practica para el diseño de mezclas de hormigón, Medellín 1987, 186 paginas [en línea]. [Consulta: 8 setembre 2017]. Disponible en internet: <URL: <http://www.bdigital.unal.edu.co/40215/1/3352874.19873.pdf>>.

GIRALDO BOLÍVAR, Giraldo. Manual De Agregados Para El Hormigón Universidad Nacional De Colombia Manual De Agregados Para El Hormigon Segunda Edicion, Medellín 2003, 49 paginas [en línea]. [Consulta: 8 setembre 2017]. Disponible en internet: <URL: <http://www.unalmed.edu.co/~ogiraldo/archivos/laboratorio/agregados.pdf>>.

GONZÁLEZ, Javier. Universidad Carlos de Madrid. Microscopia electrónica de barrido. [en línea]. [Consulta: 8 septiembre 2017]. Disponible en internet: <URL: http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/caracterizacion-de-materiales/material-de-clase-1/Unidad_4_Tema_Microscopia_electronica_de_B.pdf>.

GUTIÉRREZ DE LÓPEZ, Libia. El concreto y otros materiales para la construcción, Universidad Nacional de Colombia, Manizales Colombia 2003, ISBN 958-9322-82-4 [en línea]. Disponible en internet: <URL: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/>>.

HARMSEN, Teodoro E. Diseño de Estructuras de Concreto Armado, año 2005, Fondo Editorial: PUCP, ISBN 9789972427305 [en línea]. Disponible en internet: <URL: https://books.google.com.co/books?id=Gr3Ga9__NB4C>.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Mortero premezclado para mampostería. NTC 3356. Bogotá: ICONTEC, 2000. p. 15 [en línea]. [Consulta: 7 setembre 2017]. Disponible en internet: <URL: <http://www.andimix.co/files/NTC%203356%20Morteros%20premezclados%20para%20Mamposteria.pdf>>.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Referencias Bibliográficas. Contenido, Forma Y Estructura. NTC 5613. Bogotá: ICONTEC, 2008 [en línea]. [Consulta: 9 septiembre 2017]. Disponible en internet: <URL: <http://www.politecnicojic.edu.co/images/downloads/biblioteca/guias/NTC5613.pdf>>.

INSTITUTO GEOFÍSICO UNIVERSIDAD JAVERIANA. Estudios de Amenaza y Microzonificación Sísmica, Vulnerabilidad Estructural y Evaluación de Escenarios de Daño. Microzonificación Sísmica Preliminar de Villavicencio, 2000. [en línea]. Consultoría Colombiana S.A. Ingenieros consultores. [Consulta: 7 de septiembre de 2017].

2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/microzonificacion-sismica-preliminar-villavicencio/microzonificacion-sismica-preliminar-villavicencio.pdf>>

JERIA, Rodolfo. Curso Laboratorista Vial Clase C, Laboratorio Nacional de Vialidad, Ministerio de obras públicas, Gobierno de Chile [en línea]. [Consulta: 7 setiembre 2017]. Disponible en internet: <URL: <http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/Aridos1.pdf>>.

LEÓN, Maria y RAMÍREZ, Fernando. Caracterización Morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes. Revista Ingeniería de Construcción. Vol.25, ISSUE 2 (2010) pp.215-240.

LOBO GUERRERO, Alberto. La geología de Colombia, Bogotá: Abril 30 de 1987 [en línea]. [Consulta: 20 agost 2017]. Disponible en internet: <URL: <http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/20.500.11762/18905/1/1187.pdf>>.

LÓPEZ, Natalia. VITORIA, Ruiz. RICO, Octavio. & Otros. Biología y Geología 1º Bachillerato, año 2008. Editorial Editex. ISBN 9788497714099 [en línea]. Disponible en internet: <URL: <https://books.google.com.co/books?id=96CwyLCCvI8C>>.

MADEREY RASCON, Laura Elena. Principios de Hidrogeografía. Estudio Del Ciclo Hidrológico. UNAM, Geografía para el siglo XXI, ISBN 9789703228126 [en línea]. Disponible a: <URL: <https://books.google.com.co/books?id=0S3XDWsDzSAC>>.

MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO (SEM). 5 paginas [en línea]. [Consulta: 8 setiembre 2017]. Disponible en internet: <URL: http://www.mty.itesm.mx/dia/deptos/im/m00-862/Lecturas/SEM_ICP.pdf>.

MINISTERIO DE AMBIENTE, IDEAM. Minambiente. Gobierno de Colombia. Geomorfología de Colombia. [en línea]. [Consulta: 20 agost 2017]. Disponible en internet: <URL: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/geomorfologia-colombia>>.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍAS, MinMinas. EXPLOTACION DE MATERIALES De Construcción [en línea]. Consulta: 8 setiembre 2017]. Disponible en internet: <URL: <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/169095/EXPLOTACION+DE+MATERIALES.pdf/fc129902-1523-4764-9a05-755e3bb7896e>>.

NAIK, A. Fundamentos del microscopio electrónico y su aplicación en la investigación textil [en línea]. [Consulta: 8 septiembre 2017]. Disponible en internet: <URL: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/6074/Article03.pdf>>.

PINEDA, Elsy. Estudio de la influencia de las propiedades físicas del agregado grueso procedente de la cantera de pertigalete sobre la desviación standard en diseños de mezclas de concreto. Año 2009. Barcelona: Tesis de Grado-Departamento de Ingeniería Civil. aZ, 2009.

POLANCO, Abraham. Manual de prácticas de laboratorio de concreto, 73 paginas [en línea]. [Consulta: 7 septiembre 2017]. Disponible a: <URL: http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL_LAB_DE_CONCRETO.pdf>.

QUINTERO ORTIZ, Amparo; HERRERA, Julian y CORZO, Laura. Relación entre la resistencia a la compresión y la porosidad del concreto evaluada a partir de parámetros ultrasónicos, 2004. Ingeniería. Disponible como: Ingeniería. Vol. 8, p. 41-52.

RENAU PIQUERAS, Jaime y FAURA, Magdalena. Principios básicos del Microscopio Electrónico de Barrido. [en línea]. Sección de Microscopia electrónica Centro de Investigación. Hospital “La Fé”. Valencia, 1994 [Consulta: 8 de septiembre de 2017]. Disponible en Internet: <URL:http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/9313/CC011_art_5sequence=1.pdf>

RIVERA, Gerardo. Capítulo 2. Agregados para mortero o concreto, 2009 [en línea]. Tecnología del concreto [Consulta: 8 de septiembre de 2017]. Disponible en Internet: <URL:<ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/geanrilo/docs/FIC y GEOTEC SEM 2 de 2010/Tecnologia del Concreto - PDF ver. 2009/Cap. 02 - Agregados para mortero y concreto.pdf>>

ROBBINS, Robbins. Scanning Electron Microscope Operation Scanning Electron Microscope Operation Zeiss Supra-40. A: [online]. Erik Johnsson School of Engineering. The University of Texas at Dallas. Year 2015. [Consultation: September 8th]. Available on the Internet: <URL:<https://www.utdallas.edu/~rar011300/SEM/Scanning Electron Microscope Operation.pdf>>

RODRIGUEZ MORA, Óscar. Morteros: guía General. [en línea]. Asociación Nacional de Fabricantes de Mortero, AFAM. 2003. ISBN 9788461254545. Disponible en internet: <URL: <https://books.google.com.co/books?id=DTCfThlgAHYC>>

ROMERO QUINTERO, Andrés Felipe y HERNÁNDEZ RICO, Johan Camilo. Diseño de mezclas de hormigón por el método A.C.I. y efectos de la adición de cenizas volantes de termotasajero en la resistencia a la compresión. A: [en línea]. Trabajo de Investigación presentado Como Requisito parcial para Obtener el Título de Ingeniero Civil. [Consulta: 8 de septiembre de 2017]. Universidad Santo Tomás,

Facultad de Ingeniería Civil, Bogotá DC, 2014. Disponible en Internet: <URL: [http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/915/Diseno de mezclas de hormigon por el metodo a.c.i..pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/915/Diseno%20de%20mezclas%20de%20hormigon%20por%20el%20metodo%20a.c.i..pdf?sequence=1&isAllowed=y)>

SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Biblioteca de la Construcción, 2001 [en línea]. Editores Bhandar. Cap.6. Resistencia del Concreto y Cap. 11. Diseño de Mezclas de Concreto. ISBN 9789589247044. Disponible en Internet: <URL: <https://books.google.com.co/books?id=-6eHce4wHNYC>>.

SERVING ADVANCE TECHNOLOGY. JEOL.SEM SEM Scanning Electron Microscope A To Z, Basic Knowledge For Using The SEM Construction of Instrument Electron Gun Construction of Lens Condenser Lens and Objective Lens Specimen Stage Secondary Electron Detector Image Display and Recording Vacuum System [on line]. [Consulta: 8 septiembre 2017]. <URL: https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem_atoz_all.pdf>.

SIMONNET, Cyrille. Hormigón: Historia de un material. Año 2009. Nerea. ISBN 9788496431102 [en línea]. Disponible en internet: <URL: <https://books.google.com.co/books?id=-EuKRnC6TwsC>>.

SOLÍS CARCAÑO, Rómel y BAEZA PEREYRA, Julio. Influencia de las propiedades físicas de los agregados en la técnica de pulso ultrasónico para predecir la resistencia a la compresión del concreto. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, 2003. Revista Técnica. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia, en Maracaibo. Vol. 26, núm. 1, p. 45-55. ISSN 02540770.

SOLÍS CARCAÑO, Rómel. MORENO, Eric. Análisis de la porosidad del concreto con agregado calizo. Año 2006. Revista de la Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela, Vol. 21, núm. 3, p. 57-68. ISSN 07984065.

TOIRAC CORRAL, José. 2008. El Suelo-Cemento Como Material De Construcción. Ciencia Y Sociedad. Instituto Tecnológico de Santo Domingo, República Dominicana. Vol. 33, núm. 4, p. 520-571. ISSN 03787680 [en línea]. Disponible en internet: <URL: <http://www.redalyc.org/pdf/870/87012672003.pdf>>.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID. Tema 14. Microscopía electrónica de barrido. Microscopía electrónica de transmisión. Difracción de electrones. Microanálisis, [en línea] Ampliación de Química Inorgánica. Centro de Ciencia, 2004. [Consulta: 8-septiembre de 2017]. Disponible en Internet: < URL: http://webdeptos.uma.es/qicm/doc_docencia/tema14_me.pdf >

UNIVERSIDAD PABLO OLAVIDE SEVILLA - Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI). Economía, Centro de conocimiento y servicio de microscopía electrónica de barrido de alta resolución [en línea]. [Consulta: 8

septiembre 2017]. Disponible en internet: <URL: www.upo.es/otri>.

VÁZQUEZ, Adán. e Ingenieros GOZÁLEZ, ROCHA y FLORES. Elaboración de concretos con agua tratadas. Fecha: 05 febrero de 2012 [en línea]. [Consulta: 20 agosto 2017]. Disponible en internet: <URL: <http://www.imcyc.com/revista/2001/abril2001/concretos.htm>>.

ANEXOS

1. Agregado Grueso Villavicencio

a. NTC 1776: MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR POR SECADO EL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

W = contenido de humedad de la muestra (%)=0,0964%

H = masa inicial de la muestra (gr)=3001,11gr

S = masa de la muestra seca (gr)=2998,22gr

$$W = 100 * \frac{(H - S)}{S} = 100 * \frac{(3001,11 - 2998,22)}{2998,22} = 0,0964\%$$

b. NTC 92: DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y LOS VACÍOS ENTRE PARTÍCULAS DE AGREGADOS

APISONAMIENTO

- Masa Unitaria

M1 = masa unitaria del agregado (kg/m³) =1358,40822kg/m³

M2 = masa unitaria del agregado (kg/m³) =10,852kg/m³

G = masa del agregado más el molde (kg)=15,174kg

T = masa del molde (kg)=4,592kg

V = volumen del molde (m³) =0,00779m³

F = factor para el molde (1/m³) =1/m³

$$M1 = \frac{(G - T)}{V} = \frac{(15,174 - 4,592)}{0,00779} = 1358,41kg/m^3$$

$$M2 = (G - T) * F = (15,174 - 4,592) * 1 = 10,582kg/m^3$$

- Contenido de Vacíos

S = gravedad específica Bulk (base seca), determinada de acuerdo con la NTC 176=2,64225169

W = densidad del agua (998 kg/m³) =998kg/m³

$$(M1) \%Vacios = 100 * \frac{(S * W) - M}{S * W} = 100 * \frac{(2,642 * 998) - 1358,408}{(2,642 * 998)} = 48,486\%$$

$$(M2) \%Vacios = 100 * \frac{(S * W) - M}{S * W} = 100 * \frac{(2,642 * 998) - 10,852}{(2,642 * 998)} = 99,598\%$$

PALEO

- Masa Unitaria

M1 = masa unitaria del agregado (kg/m³) = 1282,499kg/m³

M2 = masa unitaria del agregado (kg/m³) = 9,990kg/m³

G = masa del agregado más el molde (kg) = 14,583kg

T = masa del molde (kg) = 4,592kg

V = volumen del molde (m³) = 0,00779m³

F = factor para el molde (1/m³) = 1/m³

$$M1 = \frac{(G - T)}{V} = \frac{(14,583 - 4,592)}{0,00779} = 1282,499kg/m^3$$

$$M2 = (G - T) * F = (14,583 - 4,592) * 1 = 9,990kg/m^3$$

- Contenido de Vacíos

S = gravedad específica Bulk (base seca), determinada de acuerdo con la NTC 176=2,64225169

W = densidad del agua (998 kg/m³) = 998kg/m³

$$(M1) \%Vacios = 100 * \frac{(S * W) - M}{S * W} = 100 * \frac{(2,642 * 998) - 1282,498}{(2,642 * 998)} = 51,365\%$$

$$(M2) \%Vacios = 100 * \frac{(S * W) - M}{S * W} = 100 * \frac{(2,642 * 998) - 9,990}{(2,642 * 998)} = 99,621\%$$

c. NTC 176: MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y LA ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

- Densidad aparente

A = masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno (gr)=2994,34gr

B = masa en el aire de la muestra de ensayo saturada y superficialmente seca (gr)=3016,42gr

C = masa en el agua de la muestra de ensayo saturada (gr)=1886gr

$$D_{sBulk} = 0,9975 * \frac{A}{(B - C)} = 0,9975 * \frac{2994,34}{(3016,42 - 1886)} = 2,642g/cm^3$$

- Densidad

$$D_{sAparente} (saturado - superficialmente seco) = 0,9975 * \frac{B}{(B - C)}$$

$$= 0,9975 * \frac{3016,42}{(3016,42 - 1886)} = 2,662g/cm^3$$

- Absorción

$$Absorción \% = \frac{(B - A)}{A} * 100 = \frac{(3016,42 - 2994,34)}{2994,34} * 100 = 0,74\%$$

2. Agregado Grueso Mosquera

a. NTC 1776: MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR POR SECADO EL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

W = contenido de humedad de la muestra (%)=0,84%

H = masa inicial de la muestra (gr)=3000,49gr

S = masa de la muestra seca (gr)=2975,47gr

$$W = 100 * \frac{(H - S)}{S} = 100 * \frac{(3000,49 - 2975,47)}{2975,47} = 0,84\%$$

b. NTC 92: DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y LOS VACÍOS ENTRE PARTÍCULAS DE AGREGADOS

APISONAMIENTO

- Masa Unitaria

M1 = masa unitaria del agregado (kg/m³) = 1212,666kg/m³

M2 = masa unitaria del agregado (kg/m³) = 9,447kg/m³

G = masa del agregado más el molde (kg) = 14,039kg

T = masa del molde (kg) = 4,592kg

V = volumen del molde (m³) = 0,00779m³

F = factor para el molde (1/m³) = 1/m³

$$M1 = \frac{(G - T)}{V} = \frac{(14,039 - 4,592)}{0,00779} = 1212,666kg/m^3$$

$$M2 = (G - T) * F = (14,039 - 4,592) * 1 = 9,447kg/m^3$$

- Contenido de Vacíos

S = gravedad específica Bulk (base seca), determinada de acuerdo con la NTC 176=2,292

W = densidad del agua (998 kg/m³) = 998kg/m³

$$(M1) \%Vacios = 100 * \frac{(S * W) - M}{S * W} = 100 * \frac{(2,292 * 998) - 1212,666}{(2,292 * 998)} = 46,97\%$$

$$(M2) \%Vacios = 100 * \frac{(S * W) - M}{S * W} = 100 * \frac{(2,292 * 998) - 9,447}{(2,292 * 998)} = 99,59\%$$

PALEO

- Masa Unitaria

M1 = masa unitaria del agregado (kg/m³) = 1123,780kg/m³

M2 = masa unitaria del agregado (kg/m³) = 8,754kg/m³

G = masa del agregado más el molde (kg) = 13,346kg

T = masa del molde (kg) = 4,592kg

V = volumen del molde (m³) = 0,00779m³

F = factor para el molde (1/m³) = 1/m³

$$M1 = \frac{(G - T)}{V} = \frac{(13,346 - 4,592)}{0,00779} = 1123,780kg/m^3$$

$$M2 = (G - T) * F = (13,346 - 4,592) * 1 = 8,754kg/m^3$$

- Contenido de Vacíos

S = gravedad específica Bulk (base seca), determinada de acuerdo con la NTC 176=2,291

W = densidad del agua (998 kg/m³) =998kg/m³

$$(M1) \%Vacios = 100 * \frac{(S * W) - M}{S * W} = 100 * \frac{(2,291 * 998) - 1123,780}{(2,291 * 998)} = 44,97\%$$

$$(M2) \%Vacios = 100 * \frac{(S * W) - M}{S * W} = 100 * \frac{(2,291 * 998) - 8,754}{(2,291 * 998)} = 99,62\%$$

c. NTC 176: MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y LA ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

- Densidad aparente

A = masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno (gr)=2939,33gr

B = masa en el aire de la muestra de ensayo saturada y superficialmente seca (gr)=3063,475gr

C = masa en el agua de la muestra de ensayo saturada (gr)=1784,0gr

$$D_{sBulk} = 0,9975 * \frac{A}{(B - C)} = 0,9975 * \frac{2939,33}{(3063,475 - 1784)} = 2,291g/cm^3$$

- Densidad

$$D_{sAparente} (saturado - superficialemnete seco) = 0,9975 * \frac{B}{(B - C)}$$

$$= 0,9975 * \frac{3063,475}{(3063,475 - 1784)} = 2,388g/cm^3$$

- Absorción

$$Absorción \% = \frac{(B - A)}{A} * 100 = \frac{(3063,475 - 2939,33)}{2939,33} * 100 = 4,22\%$$

3. Agregado fino

a. NTC 1776: MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR POR SECADO EL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

W = contenido de humedad de la muestra (%)=8,668%

H = masa inicial de la muestra (gr)=227,53gr

S = masa de la muestra seca (gr)=209,38gr

$$W = 100 * \frac{(H - S)}{S} = 100 * \frac{(227,53 - 209,38)}{209,38} = 8,668\%$$

b. NTC 237: MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y LA ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

- Masa unitaria

C = masa del picnómetro con la muestra y al agua hasta la marca de calibración (gr)= 1132,84gr

Va = volumen del agua agregada al picnómetro (ml)= 500ml

S = masa de la muestra saturada y superficialmente seca = 495,79gr

M = masa del picnómetro vacío (gr)= 138,3gr

$$C = 0,9975V_a + S + M = (0,9975 * 500) + 495,79 + 138,3 = 1132,84gr$$

- Densidad aparente (Bulk)

D = densidad aparente, g/cm³= 2,556g/cm³

A = masa en el aire de la muestra secada al horno (gr)= 490,19gr

B = masa del picnómetro lleno con agua (gr)= 638,0gr

S = masa de la muestra saturada y superficialmente seca= 495,79gr

C = masa del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración (gr)= 943,24gr

$$D_{sAparente} = 0,9975 * \frac{A}{(B + S - C)} = 0,9975 * \frac{490,19}{(638,0 + 495,79 - 943,24)} \\ = 2,566gr/cm^3$$

- Densidad aparente (Base saturada y superficialmente seca)

$$D_{sAparente (base sss)} = 0,9975 * \frac{S}{(B + S - C)} = 0,9975 * \frac{495,79}{(638,0 + 495,79 - 943,24)}$$

$$= 2,595 \text{ gr/cm}^3$$

- Densidad nominal

$$D_{sNominal} = 0,9975 * \frac{A}{(B + A - C)} = 0,9975 * \frac{490,19}{(638,0 + 490,19 - 943,24)}$$

$$= 2,644 \text{ g/cm}^3$$

- Absorción

$$\text{Absorción \%} = \frac{S - A}{A} * 100 = \frac{495,79 - 490,19}{490,19} * 100 = 1,142\%$$

c. NTC 77: MÉTODO PARA EL ANÁLISIS POR TAMIZADO DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

- Agregado grueso Villavicencio

Tabla 38. Granulometría grava de Villavicencio.

Tamiz	Peso Retenido (gr)	Retenido (%)	Retenido acumulado (%)
1" (25,4mm)	0	0	0
¾" (19,1 mm)	0	0	0
½" (12,7mm)	980,14	39,2056	39,2056
3/8" (9,52mm)	297,38	11,8952	51,1008
Nº 4 (4,76mm)	246,86	9,8744	60,9752
Nº 8 (2,36mm)	391,05	15,642	76,6172
Nº 10 (2,0mm)	60,15	2,406	79,0232
Nº 16 (1,18mm)	170,43	6,8172	85,8404
Nº 30 (0,60mm)	145,29	5,8116	91,652
Nº 40 (0,42mm)	48,01	1,9204	93,5724
Nº 50 (0,30mm)	56,17	2,2468	95,8192
Nº 80 (0,18mm)	58,05	2,322	98,1412
Nº 100 (0,15mm)	9,36	0,3744	98,5156
Nº 200 (0,075mm)	28,04	1,1216	99,6372
Filler	9,07	0,3628	0
Total			100

Fuente: Los autores.

Módulo de finura = 2,39

- Agregado grueso Mosquera

Tabla 39. Granulometría grava de Mosquera.

Tamiz	Peso Retenido (gr)	Retenido (%)	Retenido acumulado (%)
1" (25,4mm)	0	0	0
¾" (19,1 mm)	464,57	9,2914	9,2914
½" (12,7mm)	1433,98	28,6796	37,971
3/8" (9,52mm)	457,94	9,1588	47,1298
Nº 4 (4,76mm)	669,49	13,3898	60,5196
Nº 8 (2,36mm)	465,49	9,3098	69,8294
Nº 10 (2,0mm)	108,84	2,1768	72,0062
Nº 16 (1,18mm)	324,09	6,4818	78,488
Nº 30 (0,60mm)	360,89	7,2178	85,7058
Nº 40 (0,42mm)	170,09	3,4018	89,1076
Nº50 (0,30mm)	175,69	3,5138	92,6214
Nº 80 (0,18mm)	208,45	4,169	96,7904
Nº 100 (0,15mm)	32,35	0,647	97,4374
Nº 200 (0,075mm)	95,87	1,9174	99,3548
Filler	32,26	0,6452	0
Total			100

Fuente: Los autores.

4. Cemento

a. NTC 110: MÉTODO PARA DETERMINAR LA CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO HIDRÁULICO

Se determina que para una muestra de 650gr de cemento CEMEX, hay una consistencia normal con una cantidad de agua de 195ml.

b. NTC 118: MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO MEDIANTE EL APARATO DE VICAT

Tabla 40. Tiempos de fraguado.

Tiempo (s)	Penetración (mm)
11:30	41,00
11:45	40,00
12:00	40,00
12:15	39,00
12:30	38,00
12:45	36,00
01:00	33,00
01:15	31,00
01:30	28,00
<u>01:45</u>	<u>26,00</u>
02:00	23,00
02:15	20,00
02:30	16,00
02:45	12,00
03:00	08,00
03:15	04,00
03:30	00,00

Fuente: Los autores.

c. NTC 221: MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRÁULICO

Masa del cemento (gr)=64gr

Volumen desplazado (cm³) =21,50cm³

$$p_{\text{Cemento}} \left(\frac{Mg}{m^3} \right) = p \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{\text{Masa del cemento, } g}{\text{Volumen desplazado, } cm^3} = \frac{64}{(21,9 - 0,4)} \\ = 2,9767gr/cm^3$$

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{Densidad del cemento}}{\text{Densidad del agua a } 4^{\circ}C} = \frac{2,976}{1} = 2,976g/cm^3$$

5. Resistencias

Tal como se indicó en la metodología, se realizan las fallas de 30 cilindros de concreto que corresponden 5 cilindros a los 7, 5 a los 14 y 5 a los 28 días, lo anterior para la mezcla de Villavicencio y Mosquera, a continuación, se dan a conocer los resultados de cada una de las resistencias obtenidas, así como las imágenes que en forma correspondiente evidencian el tipo de falla manifestada.

Tabla 40. Datos iniciales antes de la falla de concreto a los 7 días con grava de Villavicencio.

07 Días Villavicencio				
Peso	Diámetro	Altura	Resistencia	Esfuerzo
(kg)	(mm)	(cm)	(kgf)	(Psi)
12,780	150,527	30,167	24000	1918,188
12,840	151,010	30,333	25000	1985,343
12,840	150,773	30,267	24000	1911,917
13,420	153,377	30,500	26000	2001,528
12,760	151,377	30,400	25000	1975,736

Fuente: Los autores.

Ilustración 28. Concreto con grava de Villavicencio fallado a los 7 días.



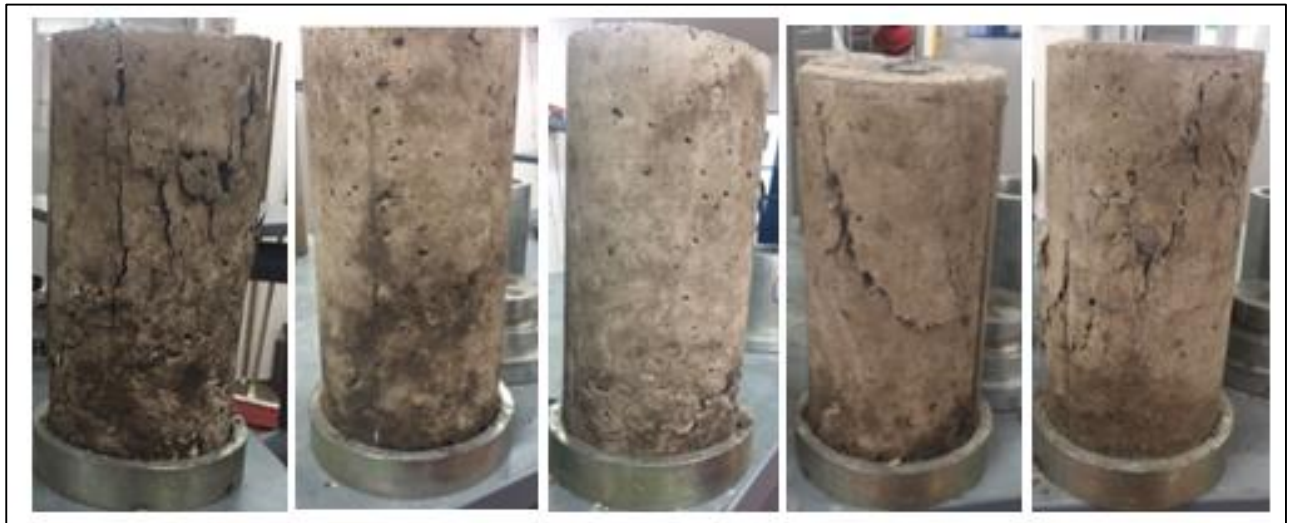
Fuente: Los autores.

Tabla 41. Datos iniciales antes de la falla de concreto a los 14 días con grava de Villavicencio.

14 Días Villavicencio				
Peso	Diámetro	Altura	Resistencia	Esfuerzo
(kg)	(mm)	(cm)	(kgf)	(Psi)
12,720	150,100	29,830	33000	2652,525
12,840	149,300	30,230	32000	2599,784
13,220	147,800	30,530	31500	2611,371
12,840	149,700	30,570	29500	2383,885
12,920	149,600	30,670	30500	2467,991

Fuente: Los autores.

Ilustración 29. Concreto con grava de Villavicencio fallado a los 14 días.



Fuente: Los autores.

Tabla 42. Datos iniciales antes de la falla de concreto a los 28 días con grava de Villavicencio.

28 Días Villavicencio				
Peso	Diámetro	Altura	Resistencia	Esfuerzo
(kg)	(mm)	(cm)	(kgf)	(Psi)
13,100	153,000	30,400	40600	3140,871
13,140	153,300	30,430	40500	3120,884
12,880	152,700	30,330	40300	3129,924
12,900	154,000	30,500	40200	3069,669
13,020	153,000	30,800	40300	3117,662

Fuente: Los autores.

Ilustración 30. Concreto con grava de Villavicencio fallado a los 28 días.



Fuente: Los autores.

Tabla 43. Datos iniciales antes de la falla de concreto a los 7 días con grava de Mosquera.

07 Días Mosquera				
Peso	Diámetro	Altura	Resistencia	Esfuerzo
(kg)	(mm)	(cm)	(kgf)	(Psi)
12,320	151,910	30,500	27000	2118,839
12,340	151,177	30,300	26000	2060,206
12,520	153,090	30,433	25000	1931,760
12,920	152,590	30,600	22000	1711,108
12,540	155,043	30,600	22000	1657,385

Fuente: Los autores.

Ilustración 31. Concreto con grava de Mosquera fallado a los 7 días.



Fuente: Los autores.

Tabla 44. Datos iniciales antes de la falla de concreto a los 14 días con grava de Mosquera.

14 Días Mosquera				
Peso	Diametro	Altura	Resistencia	Esfuerzo
(kg)	(mm)	(cm)	(kgf)	(Psi)
12,280	151,700	30,200	27000	2124,709
12,240	151,900	30,170	28000	2197,604
12,260	150,200	30,470	27000	2167,359
12,320	150,300	30,570	30500	2445,056
12,300	151,300	30,400	28000	2215,068

Fuente: Los autores.

Ilustración 32. Concreto con grava de Mosquera fallado a los 14 días.



Fuente: Los autores.

Tabla 45. Datos iniciales antes de la falla de concreto a los 28 días con grava de Mosquera.

28 Días Mosquera				
Peso	Diámetro	Altura	Resistencia	Esfuerzo
(kg)	(mm)	(cm)	(kgf)	(Psi)
12,220	150,790	30,233	34000	2707,950
12,460	151,503	30,367	33000	2603,613
12,620	153,407	30,433	35000	2693,311
12,640	151,673	30,700	33000	2597,780
12,480	152,127	30,400	34000	2660,573

Fuente: Los autores.

Ilustración 33. Concreto con grava de Mosquera fallado a los 28 días.



Fuente: Los autores.

6. Ensayo SEM

Para poder llevar a cabo el procedimiento de microscopía electrónica de barrido, fue importante comenzar con la preparación de las muestras elegidas para ser sometidas de la siguiente manera:

- a. Elección de un mineral con aproximación de diámetro máximo 1 pulgada y de grosor máximo $\frac{1}{2}$ pulgada, una por la grava proveniente de Villavicencio y otra por la de Mosquera.
- b. Elección de dos pedazos de concreto fraguado producto de las fallas a compresión de los cilindros, una muestra por concreto con agregado de Villavicencio y una muestra por agregado proveniente de Mosquera, con las mismas características de dimensiones del paso anterior.
- c. Se pulen cada una de las muestras con lijas N° 50, 120, 180, 240, 400 y 600 en forma perpendicular una de la otra y pasando las muestras desde la de menor valor que es la más áspera hasta la de mayor valor, la cual le dio una superficie lisa e incluso con brillo a las muestras a ensayar.

Ilustración 34. Muestra pulida de agregado grueso extraído de Mosquera.



Fuente: Los autores.

- d. Se limpian las muestras por medio de un lavado con agua destilada y son sometidas a secado en horno por 20 horas hasta masa constante a 110°C.
- e. Las muestras son llevadas al laboratorio, en donde se forran con un metal (papel aluminio) y se deja al descubierto la superficie.

Ilustración 35. Muestras listas para ser sometidas a SEM.



Fuente: Los autores.

- f. y se ingresan a una cámara ionizadora con recubrimiento en oro durante aproximadamente 20 minutos, este es un paso importante para que las muestras reciban los electrones permitidores de la lectura en el microscopio.

Ilustración 36. Cámara de ionización con muestras.

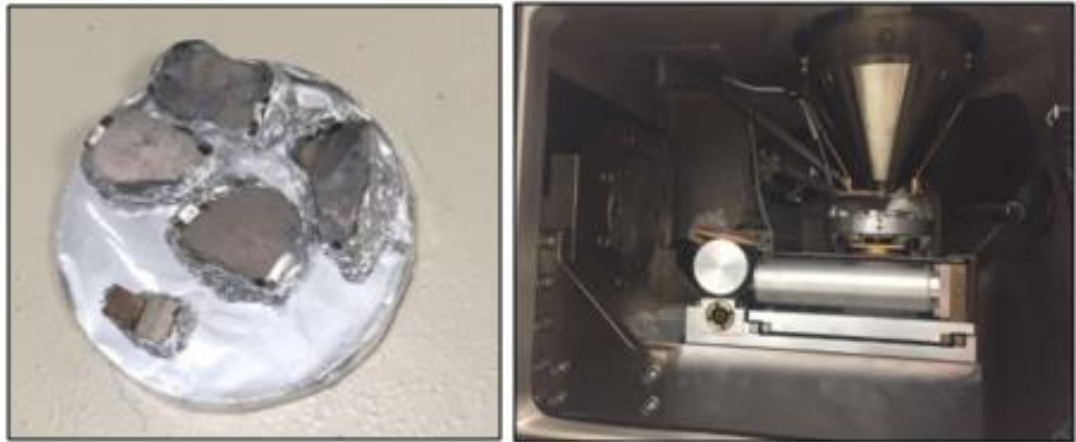


Fuente: Los autores.

- g. Se extraen las muestras con la platina, y sin alterarlas se procede al ingreso dentro del microscopio en donde se realizó el respectivo análisis con distintas

magnificaciones en los diferentes puntos con observación cualitativa de importancia.

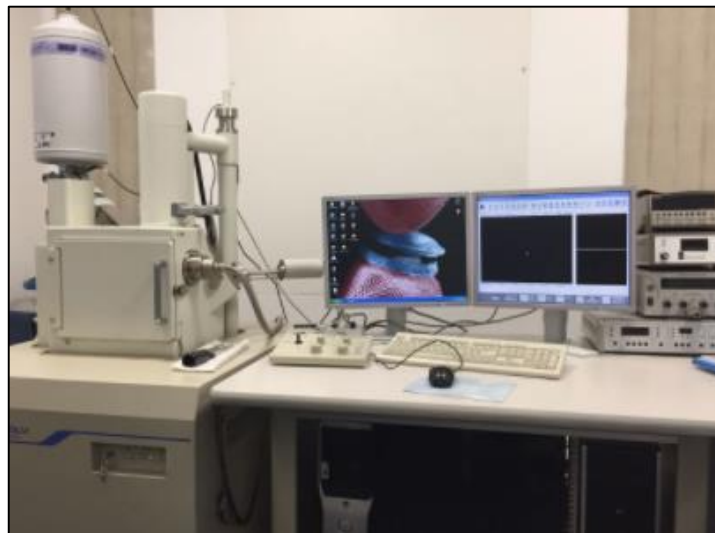
Ilustración 37. Ingreso de las mezclas al microscopio.



Fuente: Los autores.

- h. Se realiza el respectivo barrido microscópico en cada una de las muestras, obteniendo resultados de imágenes de distintas magnificaciones.

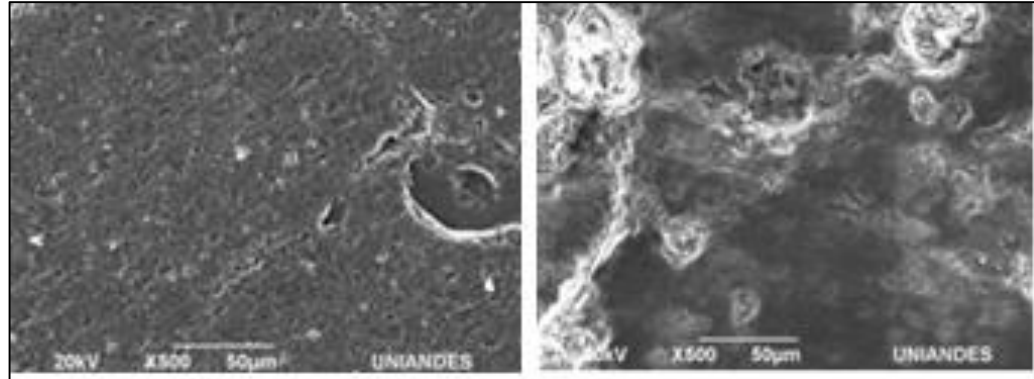
Ilustración 38. Equipo microscopia electrónica de barrido SEM, instalaciones de la Universidad de los Andes.



Fuente: Los autores.

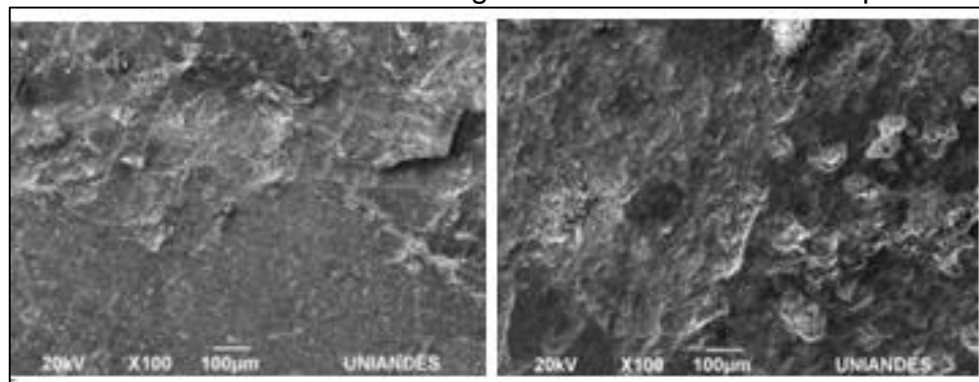
A continuación, se dan a conocer la magnificación algunas imágenes de magnificación

Ilustración 39. Agregado grueso de Villavicencio-Mosquera.



Fuente: Universidad de los Andes.

Ilustración 40. Concreto con grava de Villavicencio-Mosquera.



Fuente: Universidad de los Andes.